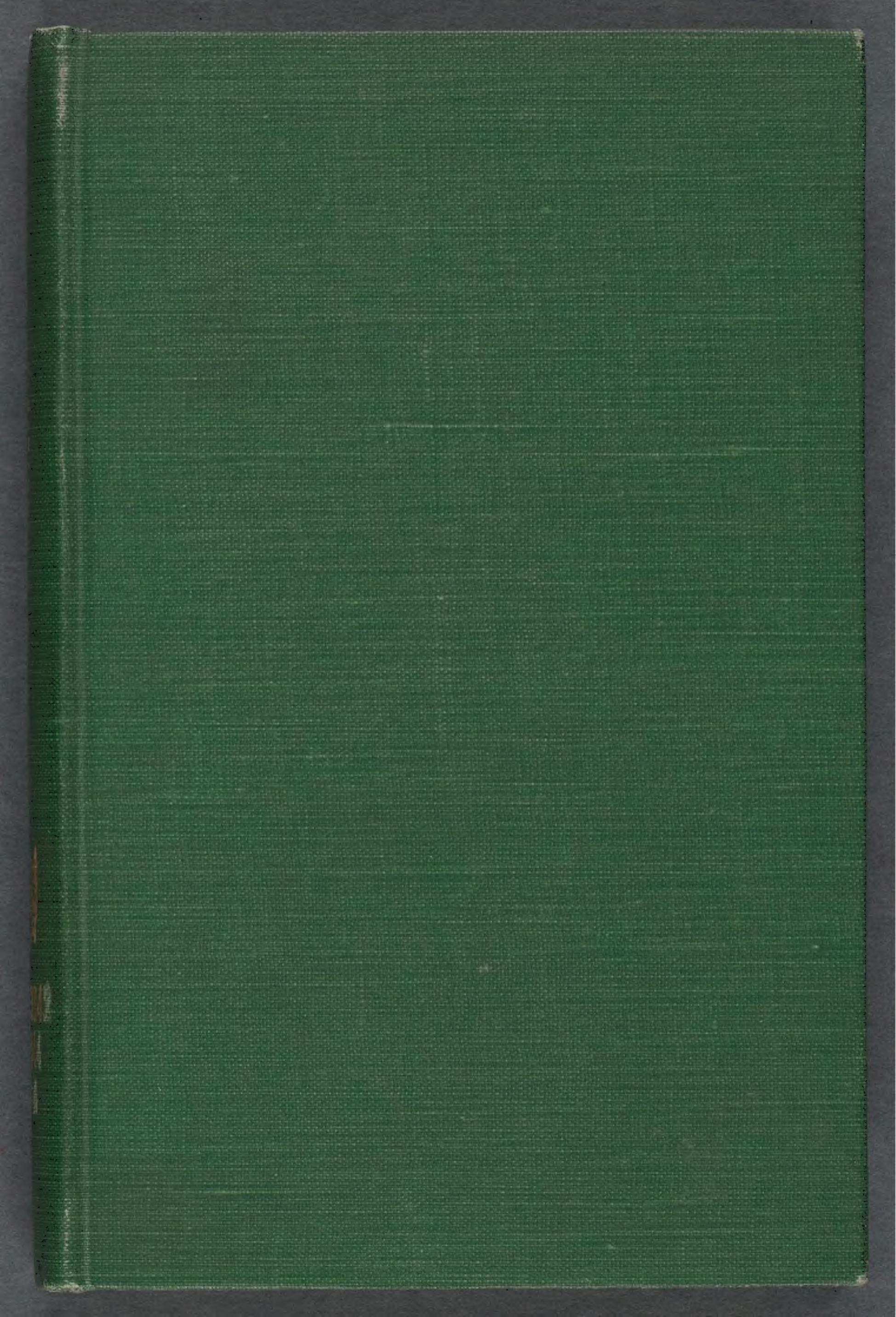



VAIL LIBRARY
Gift of American Telephone
and Telegraph Company
to the
Massachusetts Institute
of Technology 1912

LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

ET LA

TÉLÉMÉCANIQUE

A LA PORTÉE DE TOUT LE MONDE

TOURS. — IMP. DESLIS FRÈRES.

LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL ET LA TÉLÉMÉCANIQUE

A LA PORTÉE DE TOUT LE MONDE

PAR

E. MONIER

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

Préface du Dr E. BRANLY

QUATRIÈME ÉDITION MISE A JOUR

PARIS (VIe)

H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS

49, Quai des Grands-Augustins, 49

1908

PRÉFACE

La télégraphie sans fil est, à proprement parler, une télégraphie par étincelles. Elle est fondée sur la propriété que présentent les étincelles de décharge de condensateurs d'exciter la production de courants électriques alternatifs dans des conducteurs à distance. L'énergie de ces courants diminue quand la distance augmente. C'est en révélant l'existence de ces courants par des moyens très délicats qu'on a pu les utiliser pour produire des signaux électriques entre des stations éloignées.

Comme on avait l'habitude de voir de longs fils de ligne tendus entre la station de départ et la station d'arrivée des dépêches, il a paru surprenant qu'il fût possible de supprimer ces fils ; de là un intérêt spécial de curiosité attaché à la télégraphie sans fil par étincelles.

Bien que l'explication des effets obtenus ne présente pas de grosses difficultés, les auteurs qui se sont proposé de vulgariser les nouveaux procédés ont cru devoir les laisser dans une demi-obscurité, qui en impose à la bonhomie du lecteur et augmente probablement son respect pour la science.

En ne faisant intervenir que des connaissances élémentaires, M. Monier a réussi à donner une idée suffisamment précise et complète de la télégraphie sans fil ; il faut le féliciter de n'avoir pas cédé à la tentation d'éta-

ler un lourd bagage scientifique abstrait. Ceux qui auront la bonne fortune de lire son ouvrage lui devront une grande reconnaissance, car ils connaîtront ce qu'on sait sur la question, après n'avoir eu que peu d'efforts à faire.

Dr Édouard BRANLY.

LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

ET LA

TÉLÉMÉCANIQUE

CHAPITRE PREMIER

NOTIONS PRÉLIMINAIRES

Pile. — Électro-aimant. — Bobine de Ruhmkorff. — Interrupteur à marteau. — Oscillateur de Hertz. — Étincelle vibrante, dite oscillante, donnant des ondes hertziennes. — Poste transmetteur. — Poste récepteur. — Le tube de Branly. — Trépied-disque. — Appareil Morse. — Les antennes. — Les prises de terre. — Le relais. — A quelle distance peut-on envoyer les dépêches? — Avantages et inconvénients de la télégraphie sans fil. — Secret des dépêches. — La syntonisation.

La télégraphie sans fil est, sans contredit, l'invention la plus merveilleuse de notre époque. Tout le monde en parle, mais peu la comprennent. C'est que, pour bien se rendre

compte de cette invention, il faut posséder des connaissances étendues en électricité.

Le grand nombre d'ouvrages qui ont déjà paru sur cette question fait voir combien on s'y intéresse ; mais ces ouvrages s'adressent à des savants ou à des ingénieurs ; aussi nous proposons-nous de faire connaître les principes de la télégraphie sans fil aux personnes qui n'ont sur l'électricité que des notions élémentaires. Nous dirons ensuite quel est l'état actuel de la question.

Le but de la télégraphie sans fil, ainsi que son nom l'indique, est de transmettre une dépêche d'une station à une autre, sans l'intermédiaire du fil. La station qui envoie les dépêches s'appelle *poste transmetteur*, et la station qui les reçoit, *poste récepteur*.

Il paraît étrange que l'on puisse supprimer les fils suspendus le long des chemins, et qui seuls jusqu'à présent transportaient les dépêches ; cependant la télégraphie sans fil aurait pu devancer de beaucoup la télégraphie ordinaire, car elle procède de l'étincelle électrique,

et l'étincelle, cette faible réduction de l'éclair orageux, n'est pas née d'hier.

Nous allons d'abord passer en revue les appareils en usage dans la télégraphie sans fil. Quelques-uns nous sont déjà connus ; cependant, en peu de mots, nous rappellerons leurs propriétés : les personnes à qui nous nous adressons peuvent les avoir oubliées.

Ces principaux appareils sont : la pile, l'électro-aimant, la bobine de Ruhmkorff. Nous commencerons par la pile.

Pour nos explications, nous ferons usage de figures schématiques, c'est-à-dire de figures réduites à leur plus simple expression, permettant de saisir d'un coup d'œil les organes essentiels des appareils.

Pile de Volta

La pile de Volta se compose d'une lame de zinc Z et d'une lame de cuivre C plongées dans

un verre contenant de l'acide sulfurique étendu d'eau (*fig.* 1).

En attachant un fil métallique à chacune de

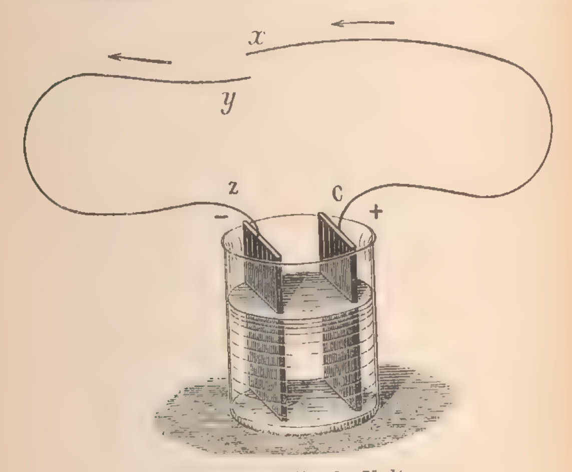


Fig. 1. — Pile de Volta.
Z, lame de zinc ; — C, lame de cuivre.

ces lames et mettant en contact leurs extrémités x et y, on obtiendra un courant électrique qui circulera continuellement d'une lame à l'autre.

Cette source continue d'électricité est produite par une réaction chimique qui s'opère au

milieu même du liquide acidulé. Les deux lames de métal qui plongent dans ce liquide constituent l'élément de la pile.

On donne le nom de pôle positif (pôle +) à la lame de cuivre, et le nom de pôle négatif (pôle —) à la lame de zinc, et on admet que le courant se dirige du pôle + vers le pôle —, c'est-à-dire du cuivre vers le zinc.

Les fils attachés aux pôles et destinés à les réunir s'appellent les *fils conducteurs*. Ils sont presque toujours en cuivre parce que, de tous les métaux, c'est le meilleur conducteur de l'électricité.

Les mauvais conducteurs, appelés aussi isolants, sont ceux qui au contraire ne laissent pas passer l'électricité. Les principaux sont : le verre, les résines, la soie, la laine.

Circuit

Le conducteur métallique ci-dessus qui transporte le courant électrique d'un pôle à un autre

prend encore le nom de *circuit*. Il est donc analogue au tuyau qui laisse passer un courant liquide.

Pour que la pile entre en activité et que la circulation du courant ait lieu, il faut que le circuit métallique n'offre aucune solution de continuité. Dans la figure 1, le courant est interrompu entre x et y, mais il s'établit dès que les deux extrémités des fils sont en contact.

Le courant qui sort de la pile *revient donc toujours à sa source*. Ce retour peut se faire par la terre, d'où l'expression *retour par le sol*. Nous en avons un exemple dans la télégraphie ordinaire.

Le courant de la pile offre un grand avantage qui résulte de sa continuité : une expérience est-elle terminée qu'on peut la recommencer aussitôt dans les mêmes conditions, car la pile répare promptement les pertes qu'elle subit.

En mettant le courant électrique en rapport avec des appareils convenables, on obtiendra les effets les plus différents : calorifiques,

magnétiques, chimiques, mécaniques, etc. Jusqu'en 1800, l'on ne connaissait que l'*électricité statique* obtenue par le frottement des corps non conducteurs : ambre, verre, cire, etc., avec une étoffe de laine. C'est à cette époque que Volta découvrit le courant de la pile qui transporte l'énergie électrique et qu'on appelle pour cette raison *électricité dynamique*. Cette découverte est une des plus belles de la Science, car elle ouvrit une nouvelle voie à l'électricité, et le petit courant devait faire son chemin. Il agitait à peine les pattes d'une grenouille, il transporte maintenant la puissance de plusieurs milliers de chevaux à des centaines de kilomètres.

Une des applications les plus importantes du courant de la pile est l'électro-aimant : comme cet appareil joue un rôle important dans la télégraphie sans fil, nous allons en faire la description.

Électro-aimant

Si l'on entoure un cylindre de fer doux d'un fil métallique recouvert de soie et que l'on mette les deux extrémités C et D de ce fil en communication avec les deux pôles d'une pile P, on obtiendra un électro-aimant. En effet, aussitôt que le courant de la pile s'établit dans le fil, le noyau de fer acquiert la propriété d'un aimant et devient capable d'attirer le fer, mais il perd ses propriétés magnétiques dès que le courant cesse de passer (*fig.* 2).

L'électro-aimant est généralement accompagné d'un morceau de fer M appelé *armature*. Cette armature a ici la forme d'un marteau dont la tige flexible est fixée au point A.

Le courant de la pile P est à volonté établi ou rompu par un organe appelé *manipulateur*. Il est figuré en O.

En appuyant sur le manipulateur, on obtient

le contact, et le courant s'établit : le marteau vient frapper aussitôt sur l'électro-aimant qui l'attire et le retient ; mais, dès qu'on cesse d'appuyer, le courant est interrompu, l'attraction est annulée, et le marteau, ramené par sa

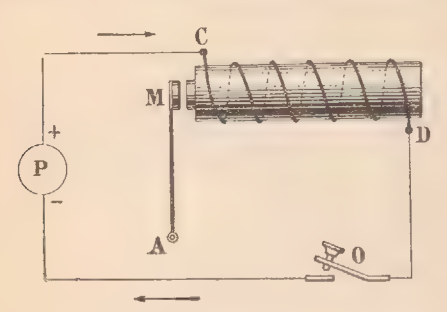


Fig. 2. — Électro-aimant.

P, pile ; — O, manipulateur ; — M, armature sous forme de marteau avec tige à ressort fixée en A.

tige flexible, reprend sa position primitive.

Remarquons que, par cette disposition, nous n'avons obtenu qu'un seul coup de marteau pendant tout le temps que nous avons appuyé sur le manipulateur.

Il s'agit maintenant d'interrompre fréquemment le courant de la pile, avec ce même mar-

teau, par une succession rapide de coups, ainsi qu'on le fait pour la sonnette électrique. On arrivera à ce résultat par la disposition indiquée dans la figure 3, en pressant sur le manipulateur O.

Cette figure montre que le courant, après

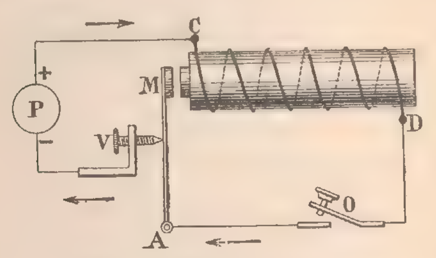


Fig. 3. — Électro-aimant.

P, pile ; — O, manipulateur ; — M, interrupteur à marteau avec tige à ressort fixée en A.

avoir passé autour de l'électro-aimant, revient à la pile par le ressort du marteau M et par la vis V sur laquelle il s'appuie.

Le courant se trouvant établi, l'électro-aimant attire le marteau qui le frappe, mais au même instant le ressort quitte la pointe de la vis, et le courant est interrompu ; l'attraction

étant supprimée, le ressort revient en contact avec la vis, d'où un nouveau courant, un second coup de marteau, et ainsi de suite. Le marteau prend donc un mouvement rapide de va-et-vient, interrompant chaque fois le courant qui reprend aussitôt, et cela, tant qu'on exerce une pression sur le manipulateur O.

Tel est l'interrupteur à marteau dit *à trembleur ;* c'est l'organe principal de la sonnette électrique, qui fonctionne aussi longtemps que l'on presse sur le bouton. Nous rappelons ce principe, parce que nous trouverons plus loin des dispositifs analogues.

Bobine de Ruhmkorff [1]

Nous avons vu que l'électro-aimant ci-dessus était un cylindre de fer doux entouré d'un fil

[1] Ruhmkorff, célèbre constructeur d'instruments de physique, né dans le Hanovre en 1803, s'établit à Paris où il construisit l'admirable machine d'induction qui

métallique dans lequel circule un courant qu'on peut rompre au moyen d'un interrupteur. Si nous enroulons sur ce premier fil, indiqué par un gros trait, un second fil représenté par un trait fin, et si ces deux fils recouverts de soie

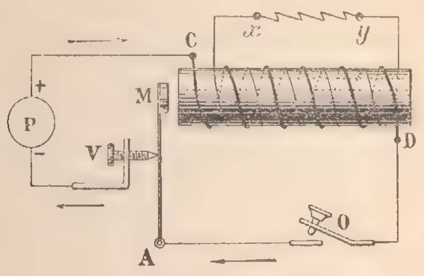


Fig. 4. — Bobine de Ruhmkorff.
AM, marteau interrupteur.

sont parfaitement isolés l'un de l'autre, nous obtiendrons la bobine de Ruhmkorff qui est, comme on peut le voir, d'une grande simplicité (*fig.* 4).

Si maintenant nous nous servons de notre

porte son nom (bobine de Ruhmkorff) et qui lui valut une récompense nationale de 50.000 francs. Il mourut à Paris en 1877.

interrupteur à marteau pour interrompre fréquemment le courant de la pile qui passe dans le gros fil, *il se produit à chaque interruption* un courant instantané dans le fil fin qui fait jaillir une étincelle entre les deux extrémités x et y ; ces deux extrémités du fil fin constituent les deux pôles de la bobine de Ruhmkorff.

Ainsi l'on peut dire que chaque coup de marteau fait jaillir une étincelle.

Nous connaissons tous ces étincelles en zigzag, d'une couleur bleuâtre, qui éclatent en faisant entendre un bruit sec ; mais, pour la télégraphie sans fil, on fait usage des étincelles dites oscillantes connues déjà depuis longtemps et que Hertz, savant allemand, a obtenues plus récemment au moyen de l'oscillateur qui porte son nom.

POSTE TRANSMETTEUR

Oscillateur de Hertz [1]

Les étincelles données par l'oscillateur de Hertz ne sont pas employées dans la télégraphie sans fil à grande distance, pour des raisons que nous ferons connaître ; cependant, comme il en est souvent question, nous ferons la description de l'appareil qui peut les produire (*fig.* 5).

L'oscillateur de Hertz se compose d'une bobine de Ruhmkorff dont les deux pôles sont reliés à deux tiges métalliques T, T'. Ces tiges sont terminées aux deux extrémités en regard

(1) Hertz, physicien allemand (1857-1893). Ce savant nous laisse des travaux d'une importance capitale. Par des expériences mémorables, il a démontré que les ondes électriques suivent les mêmes lois que les ondes lumineuses et qu'elles se propagent dans l'espace avec la même vitesse

par deux petites boules s, s' en métal, et aux extrémités opposées par deux grosses sphères A, A′ destinées à emmagasiner l'électricité. On donne à cet appareil le nom d'oscillateur, parce

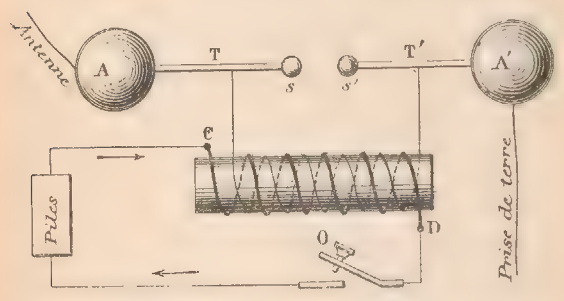


Fig. 5. — Oscillateur de Hertz ou poste transmetteur.

qu'il permet de produire les étincelles oscillantes usitées dans la télégraphie sans fil.

Pour simplifier les choses, nous représenterons, par la figure 5, le poste transmetteur. Voyons maintenant comment, avec cet appareil, on obtient les étincelles qui transmettront des dépêches à petite distance [1].

[1] Nous ferons connaître plus loin l'usage de l'antenne et de la prise de terre indiquées dans la figure 5.

En appuyant sur le manipulateur O pour établir le courant, et en faisant usage d'un interrupteur suffisamment rapide (non décrit dans la figure 5), des étincelles jailliront fréquemment entre les deux boules *s*, *s'* ou les deux pôles de l'oscillateur de Hertz.

L'étincelle ainsi obtenue à chaque interruption du courant est produite par la décharge instantanée de l'électricité emmagasinée dans les deux sphères A, A'. Cette étincelle de décharge est vibrante, c'est-à-dire oscillante. Elle est reconnaissable à sa forme renflée au milieu, à sa couleur blanche et à son bruit strident. Par ses vibrations extrêmement rapides, elle communique à l'éther des ondes électriques qui se propagent dans toutes les directions avec la vitesse de la lumière [1].

[1] En étudiant au moyen d'un miroir tournant une étincelle de décharge qui se produit entre les deux pôles de l'oscillateur de Hertz, on voit qu'elle est composée de petites étincelles très rapprochées qui *oscillent* dans un sens et dans l'autre, entre ces deux pôles. Elles correspondent à des courants qui, tantôt positifs, tantôt négatifs, se succèdent avec une extrême fréquence. A cause

Telle la corde d'un instrument de musique, d'une harpe, par exemple, qu'on tire et qu'on abandonne à elle-même. Cette corde oscille si rapidement de part et d'autre de sa position d'équilibre, que l'œil ne peut la suivre dans ses différentes positions ; par un effet d'optique, elle paraît également renflée par son milieu, et l'air frappé par ses mouvements précipités se répand de tous côtés en ondes sonores.

En résumé, l'étincelle qui éclate entre les deux boules de l'oscillateur de Hertz est vibrante ou oscillante ; chacune de ses étincelles projette dans l'espace un groupe d'ondes électriques désignées sous le nom d'ondes hertziennes.

de la persistance des impressions sur la rétine de l'œil, ces petites étincelles, qui vont et viennent avec rapidité, se confondent, à la simple vue, en une seule étincelle.

Voilà l'étincelle qui, par ses oscillations, communique à l'éther des ondes électriques ou *courants alternatifs* dont la fréquence peut dépasser 100 millions par seconde ; et ces courants se propagent aussi bien dans les fils conducteurs que dans l'éther. On les appelle *courants de haute fréquence* pour les distinguer des courants alternatifs industriels dont la fréquence ne dépasse guère 100 par seconde.

Pour nous faire une idée de la forme des ondes électriques et de leur mode de propagation, il suffit de voir l'effet produit par une pierre qui tombe dans un lac. Elle provoque autour d'elle une *série de cercles* qui vont en s'élargissant et qui se suivent de près en ondulant sur la surface de l'eau, et ces ondes viendront battre successivement les rives du lac. C'est ainsi que se propagent les ondes électriques qui se forment autour de l'étincelle ; de même elles pourront frapper, à une grande distance, un petit instrument, le *tube de Branly*, qui indiquera le moment précis de leur passage.

En définitive, nous trouvons au poste transmetteur un oscillateur avec lequel nous pouvons produire des ondes électriques : cela suffit. Transportons-nous maintenant au poste récepteur qui reçoit ces ondes.

POSTE RÉCEPTEUR

Tube de Branly

Le tube de Branly est l'organe essentiel du poste récepteur ; il convient de faire connaître ses propriétés dès maintenant.

Nous pouvons dire, d'après ce qui précède, que lorsqu'une étincelle éclate à l'oscillateur, trois phénomènes bien distincts ont lieu instantanément : un bruit frappe nos oreilles, un éclair impressionne nos yeux et des ondes électriques se répandent au loin dans toutes les directions; mais ces ondes, il nous est impossible de les percevoir par aucun de nos sens. Elles sont invisibles et silencieuses.

Cependant un appareil fort simple, le *tube à limaille*, supplée à la nature. D'une sensibilité extrême à l'action des ondes électriques, ce tube nous permet non seulement de les connaître, de

les étudier, mais il nous donne encore le moyen de les utiliser et de réaliser les expériences les plus remarquables.

Inventé par un savant français, M. Branly, cet appareil est la cheville ouvrière de la télégraphie sans fil.

Il se compose simplement d'un tube de verre dans lequel on met un peu de limaille métallique que l'on presse légèrement entre deux pistons en métal. Si l'on intercale ce tube à limaille dans le circuit d'une pile, comme l'indique la figure 6, on constate que cette pile ne peut fonctionner; on sait, en effet, que la limaille est un mauvais conducteur de l'électricité.

Ainsi le cuivre qui, de tous les métaux, est le meilleur conducteur, le cuivre réduit en limaille devient un obstacle au passage du courant de la pile. Voilà un premier fait.

Supposons qu'en ce moment on fasse éclater une étincelle à une certaine distance, le tube de Branly devient conducteur et *reste conducteur d'une façon permanente*, et la pile entre immédiatement en activité; mais, si l'on donne

un léger choc sur le tube, on ramène la limaille à sa résistance primitive, et le courant de la pile se trouve de nouveau interrompu. Une seconde étincelle rétablit le courant, un

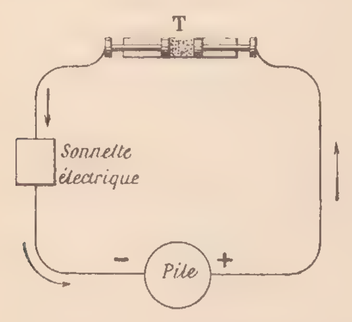


Fig. 6. — T, tube de Branly, ou radio-conducteur, ou tube à limaille, ou cohéreur, ou révélateur.

second choc le rompt encore, et ainsi de suite tant qu'on voudra.

On peut intercaler une sonnette électrique dans le circuit de la pile, et, dès qu'une étincelle jaillit, le courant s'établit et la sonnette vibre sans interruption ; mais le moindre choc sur le tube détruit le courant et arrête en même temps la sonnerie.

Bien des hypothèses ont été faites pour expliquer le fonctionnement du tube de Branly. Nous ne donnerons que celle qui est la plus répandue ; toutefois elle est loin de pouvoir expliquer tous les faits donnés par l'expérience.

Voici cette hypothèse, qui est celle de M. Lodge, savant anglais [1].

Les grains de limaille, légèrement tassés dans le tube, n'ayant entre eux qu'un contact imparfait, sont mauvais conducteurs ; mais, sous l'influence des ondes produites par une étincelle, ces grains se *cohèrent* instantanément et forment, pour ainsi dire, un bloc qui devient bon con-

[1] Quelques auteurs ont dit que les propriétés du tube à limaille ont été découvertes en même temps par M. Branly en France et par M. Lodge en Angleterre : c'est une erreur qu'il importe de rectifier, et c'est M. Lodge lui-même qui s'est chargé de faire la rectification par une lettre rendue publique et dans laquelle, avec une bonne foi qu'on ne trouve pas toujours même chez les savants, il rend hommage au véritable inventeur.

En réalité, M. Lodge n'a connu le tube à limaille que par les communications faites par M. Branly à l'Académie des Sciences et à différentes sociétés savantes.

ducteur et laisse passer continuellement le courant de la pile. Cependant un léger coup, qui ébranle le tube, suffit pour détruire la cohésion de la limaille et, par conséquent, sa conductibilité. C'est ainsi que le courant de la pile se trouve de nouveau interrompu ; et les mêmes choses recommenceront comme précédemment, après chaque étincelle et chaque coup de marteau.

Tel est le tube de Branly, l'organe le plus sensible que l'on puisse imaginer : c'est, comme on l'a dit avec raison, l'âme de la télégraphie sans fil.

Cet instrument porte différents noms : tube à limaille, radio-conducteur, révélateur, et enfin celui de *cohéreur* en raison de la théorie ci-dessus. Pourquoi ne pas lui laisser le nom du savant qui l'a découvert? Les hypothèses changent ; mais l'inventeur reste. Nous dirons donc le tube de Branly, comme on dit la pile de Volta [1].

[1] Au moment où j'écris ces lignes, j'apprends que M. Lodge vient d'abandonner sa théorie basée sur la

M. Branly a donné à son invention le nom de *radio-conducteur* (conducteur des rayons électriques). Ce nom, exprimant simplement un fait, ne dépend d'aucune théorie.

Voyons maintenant quelle est la disposition des appareils employés au poste récepteur et comment ils fonctionnent sous l'action de l'étincelle électrique (*fig.* 7).

On trouve au poste récepteur une pile P [1], qui animera en temps voulu les deux électro-aimants H et H' placés de chaque côté.

cohésion de la limaille pour expliquer l'action des ondes électriques sur le tube de Branly, et qu'il adopte une autre hypothèse dans laquelle on voit apparaître les *électrons*. Il était donc bien inutile de forger ces mots bizarres : *cohéreur*, *cohérer*, *décohérer*, si souvent employés par les auteurs qui avaient adopté la première hypothèse de Lodge. Il va falloir maintenant inventer de nouveaux mots pour se conformer à une nouvelle théorie qui n'aura peut-être pas un meilleur sort.

(1) On convient de figurer un élément de pile par des traits parallèles ; le pôle positif est représenté par un trait long et mince, et le pôle négatif par une ligne courte et grosse.

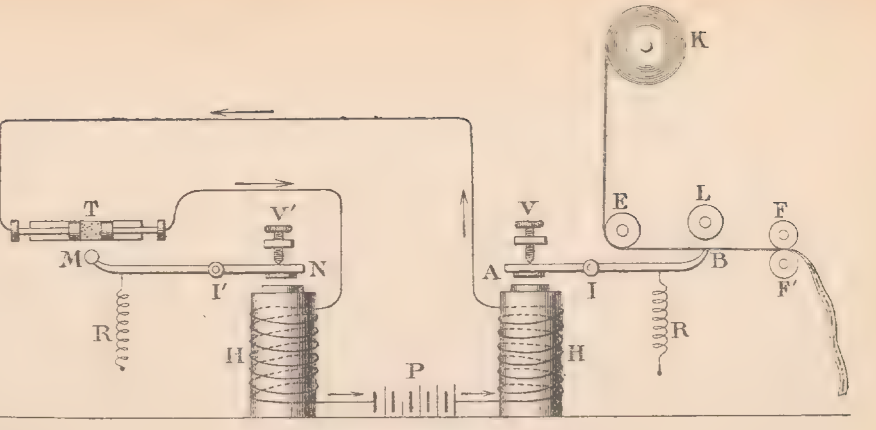


FIG. 7. — Poste récepteur sans relais.

P, pile *dite pile locale;* — H, électro-aimant du Morse : — B, palette du Morse; — H', électro-aimant du tube de Branly; — M, marteau du tube.

(La pile P est représentée schématiquement suivant l'usage des électriciens.)

L'électro-aimant de droite fait partie de l'appareil Morse pour la transcription des dépêches.

L'appareil Morse se compose d'une bande de papier enroulée en K. Cette bande, guidée par la poulie E, est ensuite pressée entre deux cylindres F et F′ qui tournent sur leurs axes, mus par un mouvement d'horlogerie ; il en résulte que la bande de papier se déroule et se dirige avec une vitesse uniforme de E vers F.

Enfin, on voit un levier AB pouvant osciller autour de son axe I. L'extrémité A qui porte l'armature de l'électro-aimant est appuyée contre la vis V par la traction du ressort R ; tandis que l'autre extrémité B terminée en palette touche la bande de papier au-dessous de la molette L, toujours chargée d'encre grasse.

L'électro-aimant H′ de gauche est annexé au tube à limaille T.

Nous voyons de ce côté un second levier qui peut également osciller autour de son axe I′ : son extrémité N porte l'armature de l'électro-aimant ; l'autre extrémité M, terminée en mar-

teau sphérique, viendra, en se soulevant, frapper sur le tube de Branly.

Le circuit de la pile P contourne l'électro-aimant H, traverse le tube à limaille T et revient à la pile, après avoir également tourné autour de l'électro-aimant H'. En ce moment tout est en repos à la station réceptrice ; le courant de la pile, étant interrompu par la résistance du tube, ne peut suivre son circuit.

Maintenant si, au poste transmetteur, on fait jaillir une étincelle par un bref contact du manipulateur, sous l'influence des ondes électriques qui arrivent au poste récepteur, le tube de Branly devient bon conducteur, le courant de la pile s'établit et, simultanément, les deux électro-aimants s'animent ; ils attirent leurs armatures et font basculer les leviers : la palette B du Morse, en s'élevant, met la bande de papier en contact avec la molette L chargée d'encre, y imprime un point, et c'est tout.

En effet, à l'instant même, le marteau frappe sur le tube, le rend résistant, et le courant de la pile est interrompu. Les deux leviers étant

rappelés par leurs ressorts dans leurs positions primitives, la station réceptrice rentre dans l'immobilité.

Si, au lieu d'un bref contact du manipulateur, nous appuyons plus longtemps, nous ferons jaillir successivement plusieurs étincelles. Par leur influence sur le poste récepteur, le marteau M, comme celui d'une sonnette électrique, frappe sur le tube à limaille, détruisant sa conductibilité, qui reprend aussitôt sous l'action d'une nouvelle étincelle, et la palette B du Morse exécute le même mouvement en imprimant chaque fois un point sur le papier qui se déroule. Il en résulte une série de points très rapprochés qu'on transforme facilement en un trait.

Ainsi, au poste transmetteur, l'employé chargé d'envoyer une dépêche pourra, en appuyant sur le manipulateur pendant des temps convenables, imprimer au poste récepteur un point ou un trait représentant la brève ou la longue de l'alphabet Morse. C'est par la combinaison de ces signes qu'on forme toutes les lettres. On écrira

donc avec la télégraphie sans fil, comme avec la télégraphie ordinaire, le mot suivant :

— — — —	— —	— — —	— —	— — —
p	a	r	i	s

en laissant un petit intervalle entre chaque lettre et un plus grand entre chaque mot.

Nous avons dit que sous l'action des étincelles le marteau M, comme celui d'une sonnette électrique, frappait sur le tube à limaille ; il suffira de placer un timbre au-dessous du tube, et le marteau frappera alternativement l'un et l'autre. L'employé sera ainsi averti de l'arrivée de la dépêche, il pourra alors écarter le timbre qui devient inutile et le replacer quand il le jugera convenable.

Transmission lointaine des dépêches

Remarque. — Nous avons simplifié les postes transmetteur et récepteur, afin de mieux faire comprendre le principe de la télégraphie sans

fil; mais la pratique a rendu nécessaire l'adjonction de plusieurs autres appareils, tels que le relais, les antennes, les prises de terre, appareils qui permettent de lancer des dépêches à une grande distance. Nous allons les passer en revue.

Le relais

Nous avons dit que le tube de Branly arrête le courant de la pile; cependant un courant énergique peut vaincre l'obstacle et passer continuellement à travers le tube; dans ce cas, aucun fonctionnement n'est plus possible.

Or, s'il est indispensable d'avoir une pile assez forte pour actionner les organes du poste récepteur, il est non moins nécessaire d'employer un tube à limaille très sensible pour qu'il puisse percevoir les ondes électriques venant d'une grande distance. Il faut donc trouver un moyen de concilier ces deux choses. On y arrive par le relais (*fig.* 8).

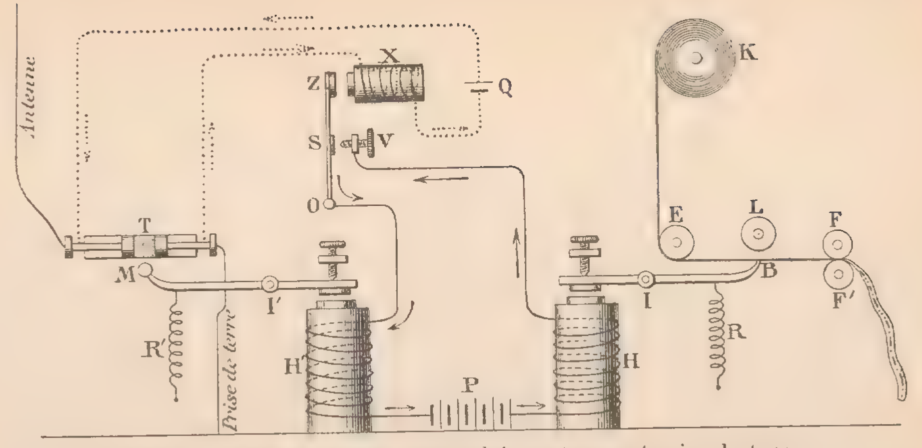


Fig. 8. — Poste récepteur avec relais, antenne et prise de terre.

Q, petite pile du relais ; — X, électro-aimant ; — ZO, interrupteur à marteau : — S, armature qui, par son contact avec la vis V, établit le courant de la grande pile locale P.

L'emploi du relais exige au poste récepteur une seconde pile Q, que nous appellerons la pile du relais. Son circuit, indiqué en pointillé, traverse le tube à limaille T et revient à la pile après avoir circulé autour de l'électro-aimant X. Ajoutons que le courant de cette pile est de faible intensité, afin de pouvoir être intercepté, en temps ordinaire, par un tube à limaille très sensible (1).

La pile P, désignée sous le nom de *pile locale* (2), est beaucoup plus forte ; elle est destinée, comme précédemment, à faire mouvoir simultanément la palette B du Morse et le marteau M du tube de Branly.

En ce moment toute la station réceptrice est en repos. La figure 8 indique que le courant

(1) En diminuant la quantité de limaille contenue dans le tube et en exerçant sur elle une pression convenable, on obtient un tube très sensible à l'action de l'étincelle ; mais, si la pression est rendue trop forte, la limaille devient trop conductrice et se comporte à peu près comme un métal continu, l'étincelle n'a plus alors d'effet appréciable.

(2) C'est le nom que l'on donne à la pile qui remplit les mêmes fonctions dans la télégraphie ordinaire.

de la pile Q est interrompu par le tube à limaille, de même que le courant de la pile P est intercepté entre la vis V et la pièce de contact S.

Dès qu'une étincelle éclate au poste transmetteur, le tube à limaille devient bon conducteur, le courant de la pile Q s'établit, l'électro-aimant X s'anime, il attire son armature Z et met la pièce S en contact avec la vis V. Au même instant le courant de la grande pile P circule, les deux électro-aimants H et H' entrent en activité, et les deux leviers font leur mouvement de bascule ; d'où un coup de palette B imprimant un point sur le papier, et un léger coup de marteau M sur le tube supprimant sa conductibilité.

Ce dernier choc interrompt instantanément le courant de la petite pile Q, la pièce de contact S quitte la vis V, et le courant de la pile locale P est également interrompu : aussitôt tout redevient immobile au poste récepteur jusqu'au moment où de nouvelles étincelles éclateront au poste transmetteur.

En définitive, avec ou sans relais, le mécanisme de la transmission reste le même : une étincelle imprime un point sur le papier, plusieurs étincelles donnent plusieurs points ou un trait.

Ainsi le rôle du relais est ici bien déterminé : il sert d'intermédiaire entre la forte pile P et le tube à limaille très sensible, ce qui permet d'augmenter la distance entre les deux postes.

Un tube à limaille extrêmement sensible peut, par ce moyen, arrêter le courant d'une batterie de piles des plus énergiques, et, si nous faisons éclater une étincelle à une centaine de kilomètres de distance, nous pourrons déclancher le courant de la batterie et produire un effet considérable. Comme on le dit avec raison, l'étincelle joue le rôle du mécanicien qui ouvre un robinet et met en train une puissante machine.

Nous venons de voir que l'emploi du relais a pour effet d'augmenter la portée des ondes électriques ; les *antennes* et les *prises de terre*, que nous allons décrire, agissent dans le même sens, mais d'une façon plus efficace.

Les antennes et les prises de terre

Reportons-nous au poste transmetteur (*fig.* 5). Là, un fil métallique part de l'un des pôles de l'oscillateur de Hertz et se dresse le long d'un mât jusqu'à une hauteur de 30 ou 40 mètres et même davantage. Ce fil prend le nom d'*antenne*.

L'antenne a la propriété de transmettre les ondes électriques à une longue distance. On a encore fait bien des hypothèses pour expliquer ce fait ; nous dirons simplement que les ondes se propagent avec la plus grande facilité le long des conducteurs métalliques. Il en résulte que, lorsqu'une étincelle éclate entre les deux pôles de l'oscillateur, les ondes qui en proviennent suivent l'antenne jusqu'à son extrémité supérieure ; de là elles iront, comme les ondes sonores d'une cloche, à une distance d'autant plus grande que le point d'émission sera plus élevé, en évitant ainsi les obstacles

placés à la surface de la terre : bois, forêts, maisons, etc., obstacles qui atténuent beaucoup leur énergie.

Ce n'est pas tout : on augmente encore la portée des ondes en mettant l'autre pôle de l'oscillateur en communication avec la terre par un second fil appelé *prise de terre*.

Il y a aussi à la station réceptrice une antenne qui s'élève à la même hauteur qu'au poste transmetteur. Elle est destinée à recueillir, au moment de leur passage, les ondes électriques pour les transmettre à une des extrémités du tube de Branly, et l'on fait communiquer l'autre extrémité avec le sol par un fil ou *prise de terre*. De cette façon les ondes recueillies par l'antenne se rendent directement dans le sol en passant par le tube à limaille.

Il ne manque pas non plus de théories concernant les *prises de terre ;* mais ici, comme pour les antennes, aucune théorie ne peut expliquer tous les faits donnés par l'expérience.

Quoi qu'il en soit, il est certain qu'on augmente toujours la portée des dépêches en met-

tant les postes transmetteur et récepteur en communication avec le sol, et mieux encore avec les nappes d'eau souterraines ou les rivières.

On voit qu'il y a une grande analogie entre l'antenne du poste récepteur et le paratonnerre. Celui-ci reçoit également les ondes électriques produites par les éclairs et les dirige vers la terre où elles se perdent.

Les étincelles

Il est bien évident que, pour la transmission lointaine des dépêches, il faut employer des étincelles énergiques. Grâce aux grandes ondes qu'elles développent, leur action se fait sentir à une longue distance. On obtient ces étincelles par la décharge de bouteilles de Leyde. Nous reviendrons sur cette question, et nous dirons pourquoi, en cette circonstance, les petites ondes hertziennes ne peuvent être utilisées.

Il faut enfin que les étincelles se succèdent rapidement pour que l'inscription d'une dépêche se fasse dans un temps relativement court.

En *résumé*, les moyens employés pour donner aux dépêches une grande portée sont :

1° Des étincelles énergiques ;

2° Un tube à limaille très sensible ;

3° Un relais ;

4° Des antennes élevées ;

5° Des communications avec le sol ou prises de terre (1).

A quelle distance peut-on envoyer une dépêche ?

La distance varie considérablement suivant que les ondes électriques doivent traverser les terres ou les mers. Les expériences faites sur

(1) A ces appareils il convient d'en ajouter encore quelques-uns dont la description ne trouve pas ici sa place.

mer ont toujours donné des résultats bien supérieurs à ceux obtenus à l'intérieur des terres. En effet les ondes sont plus ou moins arrêtées par les obstacles qu'elles rencontrent sur terre, tandis qu'elles semblent glisser avec la plus grande facilité à la surface de l'eau.

Les premières expériences faites sur terre à une distance relativement grande eurent lieu entre Bruxelles et Anvers (40 kilomètres) : elles ont donné des résultats satisfaisants. Les antennes étaient placées sur les monuments, au cœur même desdites villes.

Les résultats obtenus en mer sont plus brillants. Nous allons les passer en revue par ordre chronologique.

La première expérience importante a été faite par M. Marconi, en 1899, entre la France et l'Angleterre, des environs de Douvres à ceux de Boulogne (50 kilomètres) : les communications ont été très bonnes.

En 1901, il réussit à transmettre des dépêches entre Calvi (Corse) et Antibes, à une distance de 175 kilomètres.

Enfin, Marconi, après bien des essais, est parvenu à lancer directement des ondes électriques par-dessus l'Océan Atlantique sur une distance de 4.000 à 5.000 kilomètres, mettant ainsi l'Europe et l'Amérique en communication. Nous reviendrons sur ce résultat merveilleux au chapitre III.

Poste récepteur de M. Branly

Le poste récepteur que nous avons décrit page 30 (*fig.* 8) est le schéma d'un poste récepteur de démonstration ; il contient deux électro-aimants, l'un actionnant le levier pour l'inscription des dépêches, et l'autre faisant agir le levier à marteau pour détruire la conductibilité du tube à limaille après chaque étincelle.

La figure 9 représente le poste récepteur de M. Branly. Ce poste ne contient qu'un seul électro-aimant qui remplit à la fois les fonctions des deux électro-aimants de la figure 9.

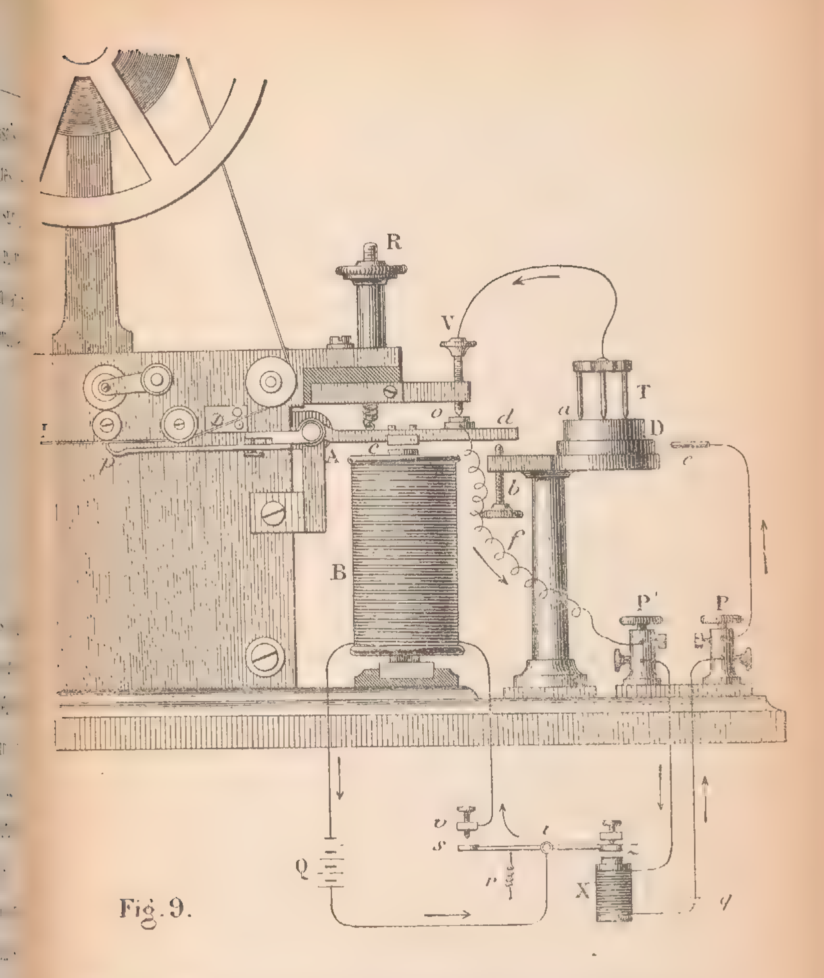


_Figure empruntée au Traité élémentaire de physique de M. E. Branly, 3me édition, éditée par Poussielgue.

Enfin M. Branly remplace le tube à limaille par un nouveau radio-conducteur auquel il a donné le nom de *trépied-disque*.

Ce trépied-disque est formé d'un trépied T à pointes d'acier poli reposant sur un disque d'acier également poli.

Le circuit de la petite pile q du relais arrive par la borne P ; il va au disque D, puis au trépied T par les trois pointes a; de là il se rend à une vis V qui appuie sur une pièce de contact o, et il retourne à la pile par la borne P′.

A l'état ordinaire, l'intervalle infiniment petit qui existe entre les pointes du trépied et la surface du disque suffit pour empêcher le courant de passer; mais sous l'action d'une étincelle qui jaillit au poste transmetteur, le courant de la pile q s'établit aussitôt par le contact des trois pointes a et du disque, et l'électro-aimant X entrant en fonction agit sur le levier zs. Celui-ci dans son mouvement déclanche à son tour la pile locale Q, ainsi que nous l'avons vu page 32.

Au même moment, l'électro-aimant B du

Morse s'anime, l'armature *c* est attirée, et le levier *pd* fait son mouvement de bascule : l'extrémité *p* de la palette, en se soulevant, imprime un point sur la bande de papier, tandis que l'extrémité *d*, en s'abaissant, vient frapper sur la tête d'une vis *b* qui sert de butoir et limite sa course. Ce choc se transmet au trépied-disque, supprime la conductibilité, et tout le poste récepteur reprend son état primitif : plusieurs étincelles imprimeront plusieurs points ou un trait, etc.

Ainsi les phénomènes déjà décrits à propos du tube à limaille se reproduisent avec le trépied-disque; mais celui-ci est plus rapide et plus sensible.

Avantages de la télégraphie sans fil

La télégraphie sans fil est surtout destinée à rendre les plus grands services à la navigation; elle contribuera certainement à diminuer le nombre des naufrages.

Ici le grand avantage de la dépêche, c'est qu'elle se répand dans toutes les directions et qu'on peut la recevoir en tous points. Ainsi un navire restera en communication avec la côte, jusqu'à une grande distance, malgré la tempête et les brumes les plus épaisses, lorsque les phares sont impuissants à projeter aucune lumière, et les sémaphores aucun signal, et cela au moment où leurs indications seraient le plus indispensables.

En pleine mer les navires peuvent, à tout instant, échanger des télégrammes, se tenir au courant de leur position, évitant ainsi les collisions, échouages, etc. Enfin, un navire en détresse sera à même de lancer dans l'espace un appel au secours qui pourra être entendu de tous ceux qui naviguent dans un rayon de plusieurs centaines de kilomètres.

On évitera donc un grand nombre de sinistres, quand la télégraphie sans fil deviendra obligatoire dans la marine, comme elle l'est déjà dans quelques pays, et quand sur les côtes on trouvera des postes transmetteurs et récepteurs.

Cependant les journaux annoncent quelquefois la perte d'un navire dont la boussole a été déréglée par le passage des ondes électriques. C'est là une erreur ; ces ondes, ainsi que nous l'avons dit, sont des courants alternatifs de haute fréquence qui n'ont aucune action sur l'aiguille aimantée (voir la note, page 16).

Il n'en est pas toujours de même pendant les temps orageux, lorsque, sous l'action foudroyante de l'éclair, l'aiguille aimantée s'affole et que les pôles se renversent. Elle peut même perdre ses propriétés magnétiques, et le navire désorienté ne sait plus de quel côté se diriger. C'est à cette cause qu'il faut quelquefois attribuer la disparition des navires à la suite de violents orages, et non au passage des ondes électriques qui émanent de l'oscillateur.

Sur terre, on utilisera aussi la télégraphie sans fil pour éviter des accidents. Ainsi, en munissant chaque station d'une antenne, on donnera des indications précises sur la marche des trains : ce qui sera autrement efficace que les disques actuellement employés.

Enfin, au moyen d'une étincelle, on pourra mettre le feu à une mine, faire sauter un pont, sans l'intermédiaire d'un long fil conducteur.

On placera, par exemple, près du pont une pile dont le fil formant circuit sera en contact avec l'amorce de la mine. Là, le fil sera aminci pour qu'il puisse devenir incandescent par le passage du courant, celui-ci étant d'ailleurs interrompu par un tube à limaille.

Dans ces conditions, la pile, toujours prête à marcher, n'attend que l'occasion de partir. Si donc on fait jaillir une étincelle à quelques lieues de distance, le courant de la pile s'établit aussitôt, le fil devient incandescent, met le feu à la mine et fait sauter le pont. Nous reviendrons sur ces questions à propos de la télémécanique.

Nous n'en finirions pas si nous voulions passer en revue tous les avantages que l'on retirera de la télégraphie sans fil ; voyons maintenant ses inconvénients.

Inconvénients de la télégraphie sans fil

La télégraphie sans fil a un peu les défauts de ses nombreuses qualités.

Sa principale qualité provient de l'extrême sensibilité du tube à limaille qui permet de recevoir des dépêches provenant d'une distance considérable ; mais cette sensibilité même est nuisible, car ce tube est impressionné par la moindre étincelle qui éclate dans les environs, ou par la foudre qui gronde dans le lointain. Il en résulte, sur le papier Morse, des signes parasites qui brouillent les dépêches.

Enfin les personnes intéressées pourront interrompre complétement toute communication, avec un puissant exploseur à étincelles fonctionnant continuellement.

Il est vrai que la télégraphie ordinaire est aussi troublée pendant les temps orageux, et qu'il est très facile de supprimer les dépêches en coupant les fils.

Mais ce que l'on reproche le plus à la télégraphie sans fil, c'est que les dépêches ne sont pas secrètes. Nous allons voir comment l'on cherche à remédier à cet inconvénient.

Secret des dépêches

Nous avons vu combien il est avantageux dans la marine de pouvoir lancer une dépêche qui sera reçue par un grand nombre de récepteurs; mais, dans bien des cas, cela peut avoir des inconvénients. En temps de guerre, par exemple, il convient d'assurer le secret des dépêches.

Comment enverra-t-on une dépêche à un poste déterminé, à l'exclusion de tout autre?

Nous avons comparé les vibrations d'une étincelle aux vibrations d'une corde de harpe ; or, on sait qu'en musique c'est le nombre de vibrations qui caractérise la note. On peut

en dire autant des vibrations électriques.

Supposons maintenant que nous ayons deux harpes placées à proximité l'une de l'autre et que nous fassions résonner une corde, le *ré*, par exemple. Aussitôt après, sous l'influence des vibrations communiquées à l'air, une corde de la seconde harpe résonne à son tour, et c'est précisément celle qui donne la même note que la première. Ces deux cordes vibreront donc à l'unisson, *et les autres cordes resteront silencieuses*. Ce curieux phénomène porte, en acoustique, le nom de *résonnance*.

En électricité, nous trouvons un phénomène analogue. On peut, du poste transmetteur, lancer des ondes dont le nombre par seconde est déterminé, des ondes possédant par conséquent le ton voulu. Or, d'après la loi de résonnance, ces ondes ne feront vibrer que le récepteur qu'on aura mis au même ton; les autres ne recevront aucune dépêche.

En d'autres termes, c'est en mettant en concordance le transmetteur et le récepteur, en les *syntonisant* (terme consacré), qu'on obtient

déjà, dans une certaine mesure, le secret des communications.

Nous donnerons plus de détails sur cette question importante dans le chapitre III.

*
* *

La télégraphie sans fil est encore à ses débuts et déjà elle a fait les progrès les plus rapides. Elle va en se perfectionnant de jour en jour, elle se vulgarise, se répand partout, et d'ici à peu de temps elle rendra les plus grands services. Cette merveilleuse découverte débute, pour ainsi dire, avec le xxe siècle et, au point où en sont les choses, on peut prédire que la fée électricité, cette fée mystérieuse, nous prépare pour ce siècle plus d'une surprise : comme les courants à haute fréquence, les rayons X, la matière radiante qui ont fait l'étonnement de tous les savants, et qui ébranlent les hypothèses en apparence le mieux établies.

*
* *

Pour bien comprendre la télégraphie sans fil, il ne suffit pas seulement de connaître les appareils qui produisent les ondes électriques et ceux qui les reçoivent, il faut encore avoir quelques notions sur les lois qui régissent ces ondes, telles que les lois de la réfraction et de la diffraction ; de plus, il faut savoir ce qu'on entend par leur longueur et leur fréquence.

Nous dirons comment ces ondes électriques pourraient se transformer en rayons calorifiques, en rayons lumineux, en rayons chimiques, voire même en rayons X ou rayons Röntgen.

Nous traiterons, dans le chapitre suivant, toutes ces questions fort simplement, comme celles qui précèdent.

CHAPITRE II

L'ÉTHER ET LES ONDES ÉLECTRIQUES

Hypothèse de l'éther. — Vibrations de l'éther se transformant en ondes électriques, calorifiques et lumineuses. — Nombre des ondes en une seconde ou leur fréquence. — Longueur des ondes. — Peut-on transformer les ondes électriques en ondes lumineuses. — Pourquoi donner le nom d'ondes hertziennes à toutes les ondes électriques? — Les ondes énergiques de Feddersen. — Pourquoi ne peut-on pas réfléchir utilement les ondes électriques comme les ondes lumineuses? — La réflexion et la diffraction. — Pourquoi ne peut-on pas se servir des ondes hertziennes pour la transmission lointaine? — Distance considérable qui sépare les séries d'ondes électriques. — Le train éclair. — Combien peut-on écrire de mots en une minute. — Substances transparentes et substances opaques pour les ondes électriques.

L'éther, d'après une hypothèse, est un fluide très subtil qui est présent partout dans l'air, dans le vide le plus parfait et dans tout l'univers : il est impondérable [1].

[1] Le mot impondérable signifie que nous ne pourrions pas, avec les moyens connus, mesurer la pesanteur de

On suppose aussi que le soleil et les étoiles sont en continuelles vibrations, et que ces vibrations, en se communiquant à l'éther, se propagent en ondes lumineuses dans toutes les directions, de même que la cloche ébranlée par le choc communique à l'air des ondes sonores.

Sans l'air, la cloche ne produit aucun son; sans l'éther, le soleil ne nous enverrait ni chaleur, ni lumière.

Ajoutons que, sans éther, l'étincelle électrique ne pourrait communiquer ses vibrations et se

l'éther. Combien de substances sont dans le même cas? Ainsi un morceau de musc peut émettre des flots de particules odorantes, pendant un grand nombre d'années, sans que cette émission soit appréciable aux balances les plus sensibles.

M. Berthelot s'est livré à ce sujet à d'intéressantes recherches. D'après ses calculs, 1 gramme de musc perdrait seulement 1 milligramme en *cent mille* ans, remplissant un espace considérable de particules infiniment petites. En pareille circonstance et en beaucoup d'autres, la matière devient impondérable comme l'éther, et la balance des chimistes reste sans emploi ; cependant bien des personnes seraient incommodées, après quelques heures, par cette forte odeur de musc qui se renouvelle sans cesse (voir les *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 21 mai 1904).

propager dans l'espace en ondes électriques.

L'hypothèse de l'éther suffit à expliquer tous les phénomènes actuellement connus des ondes électriques, calorifiques et lumineuses. Ces différentes ondes sont, ainsi que nous allons le voir, comme trois notes musicales dont le nombre de vibrations va en augmentant.

FRÉQUENCE DES ONDES ÉLECTRIQUES

Peut-on transformer les ondes électriques en ondes lumineuses ?

Par le mot *fréquence*, on désigne le nombre des ondes électriques qui se succèdent en une seconde. Cette fréquence se détermine au moyen d'un miroir tournant.

D'après ce qui précède, une question se pose :

Pourrait-on, au moyen d'un oscillateur analogue à celui de Hertz, imprimer à l'éther des vibrations de plus en plus fréquentes qui, après

les ondes électriques, donneraient des ondes calorifiques sans lumière et ensuite des rayons lumineux sans chaleur?

Les expériences de Hertz permettent de dire que cela est possible, mais on n'y est pas encore parvenu.

Hertz, avec son oscillateur, a produit d'abord 50 millions de vibrations électriques par seconde; il a ensuite porté ce chiffre à 500 millions.

On ne s'est pas arrêté là : M. Righi, physicien italien, et, après lui, M. Bose, savant de Calcutta, sont arrivés au nombre de 50 milliards.

Toutes ces ondes électriques, dont la fréquence va depuis 50 millions jusqu'à 50 milliards, sont généralement désignées sous le nom d'*ondes hertziennes*. On connaissait depuis longtemps les étincelles oscillantes qui communiquent à l'éther des ondes électriques; mais c'est Hertz qui a eu le mérite de découvrir les ondes rapides qui manquaient à la gamme électrique ; elles correspondent aux vibrations fréquentes de l'air qui donnent les sons aigus.

Hertz n'a pas seulement découvert les ondes électriques qui portent son nom, il en a également étudié les propriétés, et c'est la partie la plus importante de son œuvre.

Il est parvenu à démontrer que les ondes électriques suivent les mêmes lois de la réflexion et de la réfraction que les ondes lumineuses et qu'elles se propagent dans l'espace avec la même vitesse.

Enfin, d'après ces recherches, la *seule différence* qui existe entre les vibrations électriques et les vibrations lumineuses, c'est que ces dernières sont beaucoup plus rapides [1].

On peut donc supposer que, si au moyen d'un oscillateur on imprimait à l'éther des vibrations plus fréquentes, les ondes électriques se transformeraient en ondes lumineuses.

Cependant c'est là une hypothèse [2] qu'il est

[1] Les trois mots suivants : *vibrations*, *ondes*, *rayons*, sont synonymes. On dit indifféremment rayons ou ondes électriques.

[2] Telle est l'hypothèse de Maxwell, d'après laquelle les ondes lumineuses, comme les ondes électriques, seraient dues à des *courants alternatifs de haute fréquence*.

difficile de vérifier, car jusqu'à présent on n'a pu dépasser une fréquence de 50 milliards, et il faudrait, pour que la lumière devînt sensible, porter ce chiffre à 500 trillions par seconde, soit à un nombre dix mille fois plus grand.

En effet, sous un pareil nombre de vibrations de l'éther, l'œil commence à vibrer à l'unisson et nous donne la sensation des premiers rayons rouges, et, si la fréquence augmentait de plus en plus, on verrait apparaître successivement les rayons oranges, jaunes, verts, bleus, indigos et, enfin, les derniers, les rayons violets, avec 750 trillions de vibrations. Au delà, l'œil n'est plus impressionné ; les rayons lumineux s'évanouissent, et les rayons chimiques commencent.

On remarque la grande analogie qui existe entre le son et la lumière. Les vibrations de l'air dont la fréquence va en augmentant donnent successivement les sept notes de la gamme. Les vibrations se font-elles dans l'éther,

Cette hypothèse, faite en 1875, se trouve pour ainsi dire confirmée, vingt-cinq ans après, par les belles expériences de Hertz.

entre certaines limites, l'on voit apparaître, les unes après les autres, les sept couleurs de l'arc-en-ciel.

Le soleil nous envoie en même temps tous ces rayons lumineux qui, par leur juxtaposition, constituent la lumière blanche accompagnée des rayons calorifiques et chimiques, mais on n'y découvre aucune onde électrique. Ces dernières ondes sont peut-être absorbées par l'atmosphère solaire.

Ne restons pas en chemin et allons jusqu'au bout, en supposant que les vibrations de l'éther deviennent encore plus rapides.

Nous sommes arrivés aux rayons chimiques qui commencent avec une fréquence de 800 à 900 trillions ; viennent ensuite des rayons de tous genres, qu'on a découverts récemment et qui sont encore bien mystérieux. Enfin les fameux rayons X ou Röntgen prennent naissance. Selon quelques auteurs leur fréquence serait de quelques quintillions (voir la notice).

Et tous ces différents rayons nous harcèlent, sans que nous puissions nous en rendre compte, parce que nous n'avons qu'un fort petit nombre de sens, et encore ne sont-ils pas très sensibles.

L'univers est plein de forces ignorées qu'on ne découvre que lorsqu'on possède des appareils ou des réactifs capables de les révéler comme la plaque photographique et le tube à limaille qui sont d'une sensibilité extrême.

Longueur des ondes électriques

Après avoir parlé de la fréquence des ondes, voyons comment on obtient leur longueur.

Supposons qu'en A se trouve une étincelle qui ne cesse de vibrer pendant une seconde, et que les ondes électriques se propagent vers un point B situé à 300.000 kilomètres plus loin (*fig.* 10).

De même que les ondes liquides formées à la surface du lac, après la chute d'une pierre, se

propagent en passant alternativement au-dessus et au-dessous de la ligne de niveau, ainsi les ondes électriques produites par l'étincelle A se propageront le long de la ligne AB en prenant le même mouvement d'oscillation. Après une

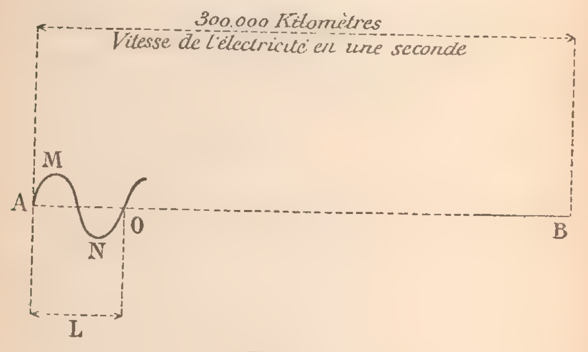


Fig. 10.
L, longueur d'une onde.

seconde elles arriveront en B et partageront, en ce moment précis, la ligne AB en parties égales.

La ligne sinueuse AMNO forme une onde complète, et la ligne AO représente sa longueur.

On obtiendra cette longueur en divisant la ligne AB par le nombre des ondes en une seconde. Si cette fréquence est de 100 millions, la longueur L d'une onde sera donc :

$$L = \frac{300000000 \text{ mètres}}{100000000} = 3 \text{ mètres.}$$

En désignant par F la fréquence, et par V, la vitesse constante de l'électricité, on aura la formule :

$$L = \frac{V}{F}; \quad \text{d'où :} \quad L \times F = V.$$

Ainsi la longueur L d'une onde est en raison inverse de sa fréquence F. En connaissant l'une de ces deux quantités, on en déduit l'autre.

Exemple. — Il est facile maintenant de nous rendre compte de la longueur des ondes obtenues par Hertz lui-même : nous savons qu'il a produit des ondes dont la fréquence varie entre 50 millions et 500 millions ; en faisant la divi-

sion indiquée ci-dessus, on voit que la longueur des véritables ondes hertziennes est comprise entre 6 mètres et 6 décimètres.

Pourquoi donner à toutes les ondes électriques le nom d'ondes hertziennes ? Les ondes énergiques de Feddersen.

Les ondes hertziennes ne sont pas les seules ondes électriques, cependant quelques auteurs donnent ce nom à toutes les ondes électriques, quelle que soit leur origine. Il convient de rendre à chacun ce qui lui appartient.

Nous avons déjà dit que les ondes électriques étaient connues avant Hertz : en effet, c'est en 1858 que Feddersen démontra, le premier, que, dans certaines conditions, les étincelles de la bouteille de Leyde pouvaient être oscillantes. Ces étincelles, suivant leur énergie, provoquent des ondes électriques de 50, 100, 500 mètres de longueur.

Par la décharge simultanée de plusieurs batteries de bouteilles de Leyde, on produira des ondes plus grandes encore.

Ainsi, dès l'année 1858, avec des ondes électriques plus ou moins énergiques obtenues par Feddersen, on aurait pu faire usage de la télégraphie sans fil, aussi bien pour les petites distances que pour les grandes, si les propriétés du tube à limaille avaint été connues.

C'est seulement en 1887 que Hertz produisit des ondes beaucoup plus petites, dont la longueur varie de 6 mètres à 6 décimètres, et que, par la même méthode, Righi et Bose arrivèrent enfin à une longueur d'ondes de 6 millimètres.

On ne devrait donc donner le nom d'ondes hertziennes qu'aux petites ondes obtenues par Hertz lui-même et par ceux qui lui ont succédé et non aux grandes ondes énergiques qui ont été découvertes trente ans avant lui et qui servent aujourd'hui à la transmission lointaine des dépêches.

Ajoutons, pour être à peu près complet, que M. Blondlot a aussi produit, avec son oscilla-

teur, des ondes électriques dont la longueur est de 30 mètres environ.

En résumé, on a pour toutes ces ondes :

DÉSIGNATION	LONGUEUR des ONDES	FRÉQUENCE DES ONDES par seconde
Feddersen. — Ondes parmi les plus longues...	600 mètres	500 mille
Blondlot...............	30 mètres	10 millions
Hertz..................	6 mètres	50 millions
	$0^m,6$	500 millions
Righi et Bose..........	$0^m,006$	50 milliards
Rayons lumineux......	$0^m,0000006$	500 trillions

Nous faisons suivre, dans ce tableau, les dernières ondes électriques connues des premières ondes lumineuses, pour montrer la grande distance qui les sépare : en effet, pour les rayons lumineux, la fréquence devient 10.000 fois plus grande, et par conséquent la longueur de l'onde, 10.000 fois plus petite. Si l'on pouvait fixer sur une plaque photographique les vibrations d'un rayon rouge, on verrait, au moyen d'un microscope, plus de 1.600 ondulations sur la longueur d'un seul millimètre !

Pourquoi ne peut-on pas réfléchir utilement les ondes électriques? — Comparaison entre les ondes électriques et les rayons lumineux.

RÉFLEXION ET DIFFRACTION

Réflexion. — Nous avons vu combien les ondes lumineuses étaient petites; elles sont même microscopiques et pourraient onduler largement dans l'épaisseur d'une ligne dont la finesse serait à peine visible [1]. Elles se propagent, pour ainsi dire, suivant une droite géométrique sans épaisseur. Il en résulte que les rayons lumineux tombant sur un miroir plan font un angle d'incidence égal à l'angle de réflexion.

D'après cette même *loi de la réflexion*, on peut réunir, au moyen d'un miroir concave, tous

(1) Il est difficile d'apercevoir une ligne dont l'épaisseur est de 1/100 de millimètre; au delà, l'œil a perdu tout pouvoir, et il faut avoir recours au microscope.

les rayons divergents, qui émanent d'un point lumineux, et les projeter en un faisceau parallèle vers une direction déterminée, ainsi qu'on le fait dans les phares au moyen d'une lentille.

Si l'on pouvait agir de même avec les ondes électriques, on augmenterait considérablement leur portée, et le secret des dépêches serait plus facile à obtenir; mais la longueur de ces ondes est si grande qu'il est impossible de les concentrer d'une manière efficace.

D'après M. Poincaré, pour réunir en un faisceau parallèle des ondes hertziennes de quelques mètres de longueur, il faudrait donner à la lentille un diamètre de plusieurs kilomètres, et, pour rassembler de la même façon des ondes de plusieurs centimètres, on devrait encore employer des lentilles de telles dimensions qu'on ne saurait les construire. Quant aux ondes plus petites encore, elles ont trop peu d'énergie pour être utilisées dans la télégraphie sans fil.

Diffraction. — Ainsi les ondes électriques sont d'autant plus difficiles à réfléchir qu'elles deviennent plus longues ; mais, en augmentant de grandeur, elles acquièrent, par cela même, des propriétés *contraires* qui leur sont beaucoup plus avantageuses pour la télégraphie sans fil : ces propriétés sont dues à un phénomène appelé *diffraction*.

Les ondes électriques, grâce à leur diffraction, ne sont pas arrêtées par les obstacles qu'elles rencontrent ; elles les contournent et continuent leur chemin.

La diffraction est d'autant plus accentuée que les ondes électriques sont plus grandes (1).

C'est pour cette raison que les grandes ondes électriques projetées par une puissante étincelle peuvent contourner un corps opaque et l'éclairer, si je puis m'exprimer ainsi, dans toutes les parties opposées ; tandis que les rayons lumi-

(1) Consulter pour l'étude complète de ces questions l'ouvrage de M. Poincaré, théorie de Maxwell, *Les Oscillations hertziennes et la Télégraphie sans fil*, ouvrage édité par Gauthier-Villars.

neux, avec leurs ondes extrêmement petites, se dirigent sensiblement en ligne droite et laissent à peu près dans l'ombre géométrique toutes les parties du corps qu'ils ne frappent pas directement ; leur diffraction étant insignifiante.

La grande diffraction des ondes électriques est d'une importance capitale pour la télégraphie sans fil à longue portée.

Nous allons nous en rendre compte.

Pourquoi ne peut-on pas se servir des ondes hertziennes pour la transmission lointaine ?

Pour que les ondes électriques se propagent à de grandes distances, il faut non seulement qu'elles soient énergiques, mais encore qu'elles soient très allongées ; ce qui d'ailleurs est une conséquence de leur énergie. C'est de cette façon qu'elles franchissent facilement les collines et montagnes et qu'elles seraient ca-

pables de faire le tour du globe terrestre en suivant sa convexité.

Il n'en est pas de même des petites ondes hertziennes à faible diffraction. Elles ne peuvent pas contourner aussi facilement les obstacles, dont le plus important sur la mer est dû à la rotondité même du globe. Voilà, avec leur *faible énergie* (1), ce qui limite la portée de ces petites ondes, ce qui limite encore davantage la portée des rayons lumineux dont les ondes microscopiques rendent la diffraction presque nulle. Aussi les phares doivent-ils être très élevés au-dessus de la mer pour dominer le plus possible sa courbure, et, malgré leur hauteur, ils ne projettent la lumière qu'à une faible distance, même par le temps le plus favorable.

En résumé, lorsqu'il s'agit d'une transmission lointaine, il faut remplacer les ondes peu énergiques de Hertz par les fortes ondes que

(1) Jusqu'à présent on n'a pu donner aux ondes hertziennes une grande énergie : plus leurs ondes deviennent petites, plus leur intensité va en diminuant.

Feddersen a obtenues par la décharge des bouteilles de Leyde.

Voilà le moyen que M. Marconi a employé pour communiquer de Douvres à Boulogne par-dessus le Pas de Calais, et de Calvi à Antibes, par-dessus la Méditerranée.

Il se servait, au poste transmetteur, d'une douzaine de bouteilles de Leyde que l'on chargeait avec une bobine de Ruhmkorff. Grâce à leur grande capacité et à l'énergie électrique qu'elles peuvent accumuler, ces bouteilles, en se déchargeant, produisaient des ondes très développées, très énergiques, qui se propageaient fort loin.

Le lieutenant de vaisseau Tissot a évalué directement la fréquence de ces ondes au moyen du miroir tournant, et il en a déduit qu'elles n'avaient pas moins de 600 mètres de longueur. Nous voilà loin des ondes hertziennes dont les plus grandes n'ont que 6 mètres.

Distance considérable qui sépare les séries d'ondes électriques

TRAIN ÉCLAIR

Nous avons déjà dit que l'explosion d'une étincelle est presque instantanée : c'est pendant ce temps infiniment petit qu'elle vibre et communique à l'éther un groupe d'ondulations.

Supposons maintenant que l'oscillateur du poste transmetteur puisse produire cinquante étincelles énergiques par seconde ; comme l'électricité parcourt 300.000 kilomètres pendant le même temps ou 6.000 kilomètres en $\frac{1}{50}$ de seconde, il en résulte que le premier groupe d'ondes sera déjà à une distance de 6.000 kilomètres quand la deuxième étincelle éclatera, et ainsi de suite. Les groupes d'ondes se succéderont donc tous les $\frac{1}{50}$ de seconde en laissant entre eux un intervalle de 6.000 kilomètres.

Si donc ces groupes d'ondes ont assez d'énergie pour faire le tour de la terre, il n'y aura, lorsque le premier groupe reviendra à son point de départ, que six à sept groupes se partageant cette énorme distance, puisque 7 × 6.000 kilomètres dépassent un peu 40.000 kilomètres, soit le tour de la terre.

Et ces groupes d'ondes comparables à des *trains éclairs* animés d'une vitesse de 300.000 kilomètres, feraient sept fois le tour de la terre en une seconde.

Quant à la longueur de chacun des trains, elle est peu de chose auprès de l'espace considérable qui les sépare, ainsi que nous le verrons.

Un savant, pour donner une idée frappante des choses qui se passent en cette circonstance, disait que les groupes d'ondes électriques se suivaient dans l'espace, comme les gouttes d'eau qui tomberaient une à une toutes les vingt-quatre heures.

Nous venons de supposer que l'on faisait éclater 50 étincelles par seconde, mais en

pratique on est loin d'y arriver, car entre deux étincelles, il faut avoir le temps de charger les puissants appareils du poste transmetteur. Nous

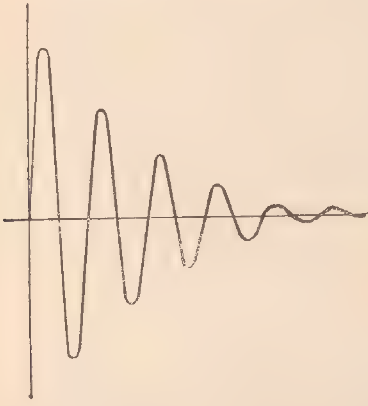


Fig. 11. — Groupe ou train d'ondes fourni par une étincelle.

ne sortons pas ici de notre question, celle de la télégraphie sans fil à longue distance qui ne peut s'obtenir qu'avec des étincelles très énergiques.

Dans ces conditions, M. Tissot a exécuté des expériences au moyen d'un miroir tournant, et il a constaté que l'étincelle ne communique à

l'éther qu'un petit nombre d'ondes électriques dont l'amplitude décroît ou s'amortit rapidement, comme l'indique la figure 11.

Toute l'énergie de l'étincelle se trouvant ainsi concentrée dans une *courte série* de vibrations, il en résulte que celles-ci agissent *brusquement* sur le tube à limaille et que cette action est comparable à un choc; ce qui est favorable à la transmission lointaine des dépêches.

Combien peut-on transmettre de mots par minute?

Nous venons de voir qu'en faisant éclater 50 étincelles par seconde entre les deux boules de l'oscillateur on transmet 50 trains d'ondes qui vont frapper les appareils du poste récepteur. On pourrait donc obtenir 50 points sur le papier Morse ou 3.000 par minute. Mais un télégraphiste, avec son manipulateur, peut à peine

transmettre 20 fois le mot *Paris* par minute, soit 100 lettres.

. On n'en demande pas davantage aux télégraphistes employés aux stations côtières et à bord des navires. Ils doivent posséder un certificat constatant qu'ils savent régler les appareils, et qu'ils sont capables de transmettre 20 mots par minute, à raison de 5 lettres par mot (Congrès international de Berlin, novembre 1906).

Substances transparentes et substances opaques aux ondes électriques

Il était important de connaître les corps qui laissent passer ou qui arrêtent les ondes électriques, c'est-à-dire les corps transparents ou opaques. Des recherches ont été faites à ce sujet par M. Branly en 1890; voici les résultats obtenus

Les ondes électriques ne se propagent pas seulement à travers l'air, mais encore à travers d'autres corps mauvais conducteurs, tels que le verre, le caoutchouc, l'huile, le bois, la pierre, les cloisons et les murailles.

Elles traversent l'eau pure ; tandis qu'elles sont arrêtées par l'eau salée et les dissolutions métalliques.

Si l'on enferme le poste récepteur entier : pile, tube à limaille, appareil Morse, dans une caisse de bois, ou dans une cage de verre et même dans un massif de maçonnerie, les étincelles qui jaillissent dehors y transmettent une dépêche ; il en serait encore de même si la caisse de bois ou la cage de verre était placée au fond d'un fleuve ; mais, si elle se trouvait dans la mer, à quelques décimètres au-dessous de son niveau, l'action de l'étincelle deviendrait nulle.

Les ondes électriques ne peuvent, dans aucune circonstance, pénétrer dans une caisse de fer parfaitement close, ni dans une cage également métallique et à mailles serrées, sans

l'intermédiaire d'une antenne placée dans des conditions convenables.

Pour communiquer avec un sous-marin, par exemple, l'antenne est doublement nécessaire, à cause de l'enveloppe métallique du navire et de l'eau de mer qui l'entoure.

*
* *

Voilà donc des ondes qui nous enveloppent et nous pénètrent sans que nous puissions constater leur présence par aucun de nos sens ; des ondes qui cheminent de tous côtés, contournant les obstacles, traversant les cloisons et les murailles pour transporter une dépêche avec la vitesse de la lumière et la déposer au fond d'une boîte fermée ou au milieu d'un massif de pierres. Et il suffit pour cela de quelques étincelles lancées dans l'espace. C'est merveilleux !

*
* *

Si l'on avait annoncé, il y a quelques années,

qu'on arriverait bientôt à un pareil résultat, les uns auraient nié, *a priori*, en répétant cette formule : « Cela est impossible, donc cela n'est pas. » D'autres auraient dit qu'une pareille chose relève de la sorcellerie et qu'on ne doit pas y croire. Mais les plus prudents admettent, en principe, la possibilité de toute chose et se gardent bien de nier quoi que ce soit. Ils étudient et cherchent la cause des faits, car ils savent que ce qui, aujourd'hui, paraît impossible pourra se faire demain facilement.

CHAPITRE III

DERNIÈRES NOUVELLES

Transmission des dépêches entre l'Angleterre et l'Amérique. — Les premiers essais de Marconi. — Obstacle le plus important à surmonter. — Influence du jour et de la nuit sur la portée des dépêches. — Le journal de bord. — Les stations puissantes des rivages de l'Atlantique donnent une grande sécurité à la navigation. — La télégraphie sans fil en Allemagne. — Nouvelles dispositions des antennes. — La télégraphie sans fil à la tour Eiffel. — La télégraphie sans fil à travers l'Amérique du Sud. — Les nouveaux radioconducteurs ou les détecteurs. — Pourquoi le téléphone devient-il nécessaire pour les grandes distances ? — Progrès de la syntonisation. — Concentration et direction des ondes électriques. — Transmission de la parole par les ondes électriques. — Dernière nouvelle de l'année 1907. — Résumé.

Dans ce chapitre nous passons en revue les progrès rapides de la télégraphie sans fil depuis 1903, année mémorable au cours de laquelle Marconi annonça qu'il était parvenu à transmettre d'Angleterre en Amérique sinon des dépêches, du moins quelques lettres de l'alphabet Morse. Cette nouvelle si extraordi-

naire trouva beaucoup d'incrédules ; mais il fallut bien se rendre à l'évidence.

Grâce à la puissance considérable des appareils établis à la station de Poldhu, au cap Lizard (Angleterre) et au cap Breton (Canada), il obtint des ondes très énergiques, très longues et possédant par conséquent une grande diffraction ; elles se propagèrent ainsi d'un continent à l'autre, en suivant la surface de l'Océan et en surmontant continuellement sa convexité sur une distance de 4.450 kilomètres. Cette convexité pour une pareille distance est énorme ; elle est de 390 kilomètres. Elle représente une montagne de forme arrondie qui aurait 1.300 fois la hauteur de la Tour Eiffel, et qui se trouverait entre le point de départ en Amérique et le point d'arrivée en Angleterre [1] (*fig.* 12).

1. Un phare qui serait établi au cap Breton devrait avoir une hauteur de 2.000 kilomètres, soit 500 fois la hauteur du mont Blanc, pour dominer la courbure de la mer, et pouvoir projeter des rayons lumineux vers un navire qui doublerait le cap Lizard.

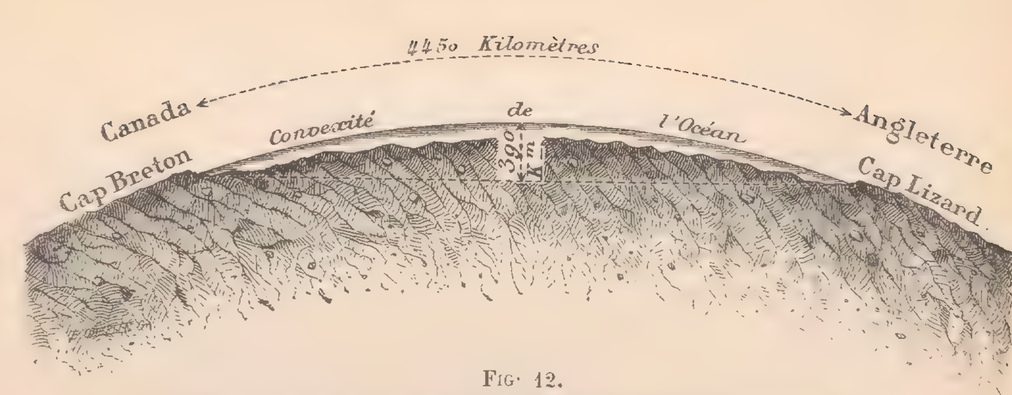


Fig. 12.

Le poste de Poldhu est situé au cap Lizard, comté de Cornouailles.
Le poste Breton se trouve à l'embouchure de Glace-Bay, dans l'île du cap Breton, en face de la Nouvelle-Écosse (Canada).

Nous avons déjà dit que, sur mer, l'obstacle le plus important à la propagation des ondes est dû à la rotondité même du globe.

On ne sait vraiment ce qu'il y a de plus surprenant dans ce résultat : ou les ondes électriques que l'on parvient à projeter à des distances aussi considérables, ou l'extrême sensibilité du radio-conducteur qui peut les percevoir à leur passage et répondre à leur appel. L'esprit reste confondu par de pareils faits.

Au cours de ses premières expériences à longue distance, Marconi a constaté que les dépêches ont une portée beaucoup plus grande la nuit que le jour, et que cette portée diminue le matin, quand le soleil apparaît, et augmente le soir, à mesure que la lumière solaire disparaît. Le phénomène prend une grande importance dans les pays tropicaux.

C'est vers le milieu du jour que les ondes ont la portée minima.

Le journal de bord entre l'Angleterre et l'Amérique du Nord

Quel que soit l'avenir de ces communications directes à grande distance entre les deux continents, il reste établi que, depuis le moment de l'embarquement jusqu'à celui de l'arrivée, les passagers peuvent correspondre entre New-York et Londres. En effet tous les transatlantiques qui font ce trajet sont munis des appareils de la télégraphie sans fil et, en cours de route, ils se transmettent les uns aux autres les dépêches venant de Londres jusqu'à New-York et réciproquement.

C'est de cette façon que, tous les jours, l'on imprime sur chaque bateau un journal de bord donnant le cours de la Bourse et les nouvelles les plus importantes du monde entier, et que les capitaines font, d'un navire à un autre,

des parties d'échecs pour combattre les ennuis de la traversée.

La station de Poldhu, située au cap Lizard (Angleterre), ne communique pas seulement avec le cap Breton (Canada), mais encore avec le cap Cod (États-Unis), près de Boston.

Ces trois grandes stations permettent d'assurer la sécurité de l'Océan ou, du moins, d'atténuer les dangers de la navigation. Les navires ayant un service régulier entre l'Angleterre et l'Amérique doivent suivre une route déterminée, de sorte qu'ils restent facilement en communication pendant toute leur traversée.

Marconi vient, paraît-il, de découvrir un instrument auquel il a donné son nom, le « marconimètre ». Cet instrument, relié au récepteur, ferait connaître la direction des dépêches et la distance qui existe entre les navires. Il les mettrait en mesure de parer au danger qui les menace au milieu même des brouillards les plus épais.

La télégraphie sans fil dans l'Amérique du Sud

Après la transmission des dépêches par-dessus l'Atlantique, nous arrivons aux communications à travers l'Amérique du Sud, au moyen de la télégraphie sans fil.

Le Pérou entreprend actuellement ce grand travail.

Déjà une communication existe entre Lima et Puerto-Bermudès, au delà des Cordillères ; on continuera ensuite vers Iquitos-sur-l'Amazone. C'est une distance de 1.000 kilomètres à franchir ; on le fera au moyen de trois stations intermédiaires.

Enfin, on parle déjà de continuer le service d'Iquitos à Para, en suivant l'Amazone sur toute sa longueur, ce qui relierait le Brésil au Pérou, les rives de l'Océan Atlantique à celles

de l'Océan Pacifique, et d'étape en étape on fera bientôt le tour du monde.

Dans cette entreprise il était impossible d'employer la télégraphie ordinaire, car l'on traverse des pays habités par des Indiens. Ne comprenant rien aux fils tendus sur des poteaux et les soupçonnant d'être des agents malfaisants, ils détruisaient le réseau à peine établi. Les indigènes de l'Afrique expriment également la plus grande animosité contre toutes ces inventions qui envahissent leur pays sous prétexte de civilisation, inventions qui ne leur disent rien qui vaille.

La télégraphie sans fil en Allemagne

En Prusse, la télégraphie sans fil a fait des progrès rapides ; c'est là qu'on a établi le poste qui donne actuellement les portées les plus considérables. Il est situé à Nauen, sur la voie

ferrée de Hambourg à Berlin, à 40 kilomètres de cette dernière ville.

Les étincelles de transmission proviennent d'une batterie de 360 bouteilles de Leyde qui, chargées à une haute tension, se déchargent en produisant des explosions semblables à des coups de tonnerre accompagnés d'éclairs éblouissants.

Au moyen des ondes énergiques ainsi obtenues, on a pu communiquer constamment de Nauen avec le paquebot *le Brême*, au cours d'une traversée de Hambourg à New-York, jusqu'à une distance de 2.500 kilomètres, bien que la moitié du parcours ait été franchie sur terre. Voilà pour le premier essai; on espère arriver bientôt à une portée de 3.000 à 4.000 kilomètres.

Pour la transmission lointaine, il convient de faire remarquer que les dépêches ne s'inscrivent pas au poste récepteur; elles sont simplement reçues au téléphone.

L'on procède d'ailleurs ainsi non seulement en Allemagne, mais encore en Angleterre et en

France. Nous dirons pourquoi les dépêches entendues au téléphone peuvent se percevoir à une plus grande distance que celles qui vont s'inscrire sur le papier Morse.

Toutefois la station de Nauen peut transmettre des dépêches écrites au poste de Saint-Pétersbourg, par les moyens ordinaires, c'est-à-dire à l'aide du tube à limaille et de l'enregistreur Morse. La distance qui sépare ces deux postes est de 1.350 kilomètres. C'est, croyons-nous, la plus grande portée des *dépêches écrites* qu'on ait obtenue jusqu'à présent sur terre. Ce dernier exemple démontre que les villes, les forêts, les chaînes de montagnes même, ne sont pas des obstacles insurmontables pour les ondes énergiques. Il faut dire aussi que ces ondes ont une longueur de 2.000 mètres environ ; elles possèdent, par conséquent, une diffraction considérable qui leur permet de franchir les plus hautes montagnes.

Ce qui contribue, pour une bonne part, à la longue portée des dépêches, c'est la disposition adoptée actuellement pour les antennes.

Nouvelles dispositions des antennes

Nous avons vu que la hauteur de l'antenne joue un rôle très important dans la transmis-

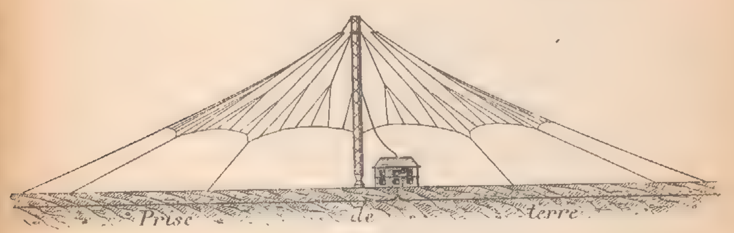


FIG. 13.

sion lointaine des dépêches et qu'au début l'on se servait de simples tiges ou de mâts s'élevant à une hauteur plus ou moins grande. Depuis longtemps on savait qu'il y a avantage à substituer au mât unique une sorte de parapluie à *baleines* métalliques ayant le mât primitif comme manche. Voici, en quelques mots, la description d'une antenne de ce genre, telle qu'elle a été établie à la station de Nauen (*fig.* 13).

Le mât employé est une tour métallique de 100 mètres de hauteur. La fondation, qui est en béton, repose sur une couche de matière *isolante*. A la partie supérieure, on a amarré des câbles métalliques qui forment les arêtes de ce vaste parapluie et qui vont s'ancrer à 200 mètres du pied de la tour dans des massifs de briques; les câbles, à leur point d'attache au sol, sont également *isolés* électriquement. Ce réseau métallique se projette ainsi sur une surface de 6 hectares. La prise de terre se compose d'un deuxième réseau métallique enterré horizontalement à une faible profondeur sous le sol, et couvrant 12 hectares. Au centre, tous les câbles se groupent et communiquent aux appareils du poste transmetteur placé près de la tour.

L'antenne, ainsi constituée, forme une *capacité* considérable qui se charge d'électricité en même temps que les bouteilles de Leyde. La décharge simultanée de toute cette électricité emmagasinée produit les étincelles foudroyantes dont nous avons parlé.

*
* *

Il est intéressant de comparer l'antenne ci-dessus à celles que M. Marconi a établies en

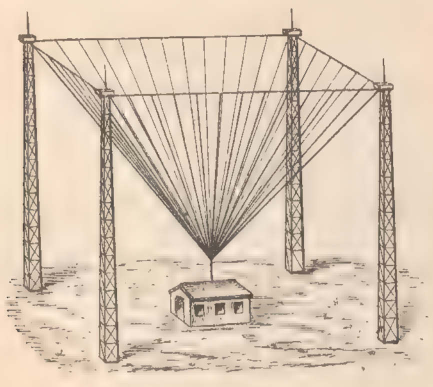


Fig. 14.

Amérique et à la station de Poldhu en Angleterre.

Ici, les câbles métalliques, qui constituent l'antenne, forment les arêtes d'une pyramide renversée dont le sommet repose, pour ainsi dire, sur le bâtiment de la station (*fig.* 14).

Cette pyramide est maintenue par quatre pylônes de 65 mètres de hauteur, s'élevant aux angles d'un carré de 60 mètres de côté.

Les antennes prennent encore un grand nombre de formes, suivant les nécessités d'ins-

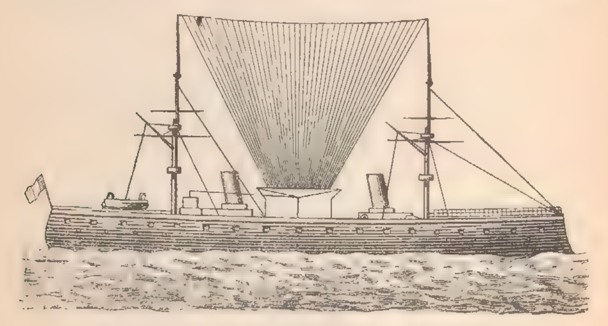


Fig. 15.

tallations. La figure 15 représente la disposition adoptée sur le navire de guerre italien *Carlo-Alberto*.

Entre les deux grands mâts de 54 mètres de hauteur est tendu un câble horizontal où sont suspendus 50 câbles se rattachant au pont du navire : voilà pour l'antenne. Quant à la prise de terre, elle est constituée par des câbles

accrochés en un grand nombre de points à la cuirasse d'acier du navire.

Le poste de Poldhu a pu ainsi envoyer des dépêches téléphoniques au *Carlo-Alberto* pendant tout son voyage de Cronstadt jusqu'à la rade de Spezzia (golfe de Gênes), soit à une distance de 1.700 kilomètres, franchissant de cette façon les plus hautes montagnes de l'Europe : les Pyrénées et les Alpes. Actuellement, la portée est encore augmentée, l'énergie employée à Poldhu étant de 150 chevaux environ.

La télégraphie sans fil à la tour Eiffel

La tour Eiffel offrait une antenne à nulle autre pareille, et le Gouvernement songea, un peu tard, à l'utiliser. Enfin, il chargea le Génie d'installer un poste de télégraphie sans fil au Champ de Mars.

Après quelques essais, le capitaine Ferrié

est parvenu à établir de très bonnes communications entre la tour et les principales places de l'Est : Belfort, Épinal, Verdun, Toul, etc.

Ces dépêches furent également reçues à Cherbourg, Ouessant, Porquerolles, Port-Vendres et, passant par-dessus la Méditerranée, elles allèrent jusqu'à Bizerte où elles furent enregistrées très correctement.

On voit par la figure 16 que la tour Eiffel sert de support aux fils qui constituent l'antenne. Des baraques en planches contiennent les appareils de transmission et de réception.

Cette installation provisoire a permis, dès le début de nos opérations au Maroc, de communiquer directement avec les navires *la Gloire* et *le Kléber* en rade de Casablanca, soit à une distance de 2.000 kilomètres ; cependant la station de la tour Eiffel ne possède qu'une force de 10 chevaux pour faire vibrer ses antennes, tandis qu'au poste de Poldhu, avec une force quinze fois plus grande, on n'obtient actuellement qu'une portée double. Cela prouve que

le capitaine Ferrié utilise mieux l'énergie dont il dispose que ne le fait Marconi.

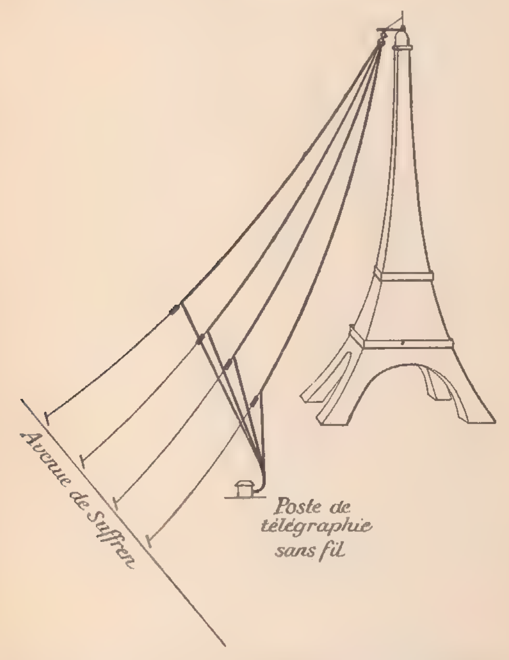


FIG. 16. — Schéma de l'antenne de la tour Eiffel.

L'État qui s'est emparé du monopole de la télégraphie sans fil, et qui est toujours en retard sur l'industrie privée, l'État qui semblait

même se désintéresser de ce nouveau mode de communication, se met peu à peu au niveau de l'Allemagne et de l'Angleterre. Lorsque la station de la tour Eiffel fera usage des appareils énergiques employés chez nos voisins, non seulement ses ondes puissantes rayonneront sur l'Europe entière et sur les bords de l'Asie et de l'Afrique baignés par la Méditerranée, mais encore, traversant le grand Océan, elles atteindront les rives de l'Amérique et réuniront ainsi quatre parties du Monde dans leur immense réseau.

La tour Eiffel pourra donc envoyer l'heure de Paris ou du premier méridien à tous les navires traversant l'Océan ; ce qui permettra de déterminer avec précision la longitude en mer et donnera une grande sécurité à la navigation.

Mais quand arriverons-nous à ce résultat? Quand l'État fera-t-il le nécessaire ?

Il paraît que des décisions importantes sont prises et que la pratique de la télégraphie sans fil va enfin sortir d'une torpeur qui était incon-

cevable. Les huttes misérables qui abritent les appareils du poste provisoire vont faire place à des constructions confortables, et la tour Eiffel deviendra la station la plus puissante du monde, grâce à la hauteur de ses antennes, qui constituera toujours un avantage considérable. Ainsi la France, qui s'était laissée distancer pendant quelque temps par l'Angleterre et l'Allemagne, montrera qu'elle ne se désintéresse pas d'une science dont elle a posé le principe en créant son organe essentiel.

La tour Eiffel jouera un rôle important dans les guerres de l'avenir. Il est prudent, toutefois, de ne pas s'endormir dans des illusions dangereuses et de ne pas croire à la sécurité des dépêches dans toutes les circonstances.

En temps de guerre, comment se mettre à l'abri d'un puissant exploseur lançant des étincelles sans interruption? S'il est installé en Alsace, il brouillera les dépêches que Belfort recevra de Paris, quelle que soit la nature du radio-conducteur ou révélateur. L'exploseur

perturbateur agira sur le poste de Belfort à cause de sa proximité, alors même que la syntonisation entre Paris et Belfort serait rigoureuse. D'ailleurs, l'appareil perturbateur pourra passer automatiquement par l'accord spécial aux deux postes visés à des intervalles assez rapprochés pour rendre les correspondances indéchiffrables.

La construction d'exploseurs à étincelles à grande portée paraît dès lors s'imposer pour user des armes dont notre ennemi ne manquera pas de se servir (1).

Ne nous laissons pas surprendre !

(1) L'exploseur à étincelles est un simple oscillateur. Par une disposition peu compliquée, cet appareil lance des étincelles dont la fréquence donne successivement toutes les notes usitées dans la télégraphie sans fil, dans un temps relativement court. Un exploseur qui troublerait ainsi toutes les dépêches jusqu'à une grande distance serait interdit, en temps de paix, par une réglementation spéciale.

Pourquoi le téléphone devient-il nécessaire pour les grandes distances?

Pour les communications lointaines, telles que celles dont il vient d'être question, on remplace le récepteur Morse par un simple téléphone. En voici la raison :

Lorsque les ondes électriques ont parcouru une trop longue distance, elles n'ont plus, en arrivant au poste récepteur, assez d'énergie pour imprimer au relais son mouvement mécanique et actionner, par son intermédiaire, les organes de l'enregistreur Morse. Il n'y a donc plus d'inscription possible.

Cependant ces ondes même très faibles peuvent encore influencer un téléphone et permettre de recevoir des sons beaucoup plus faibles que le tic tac d'une montre ; aussi est-ce en appliquant le téléphone à l'oreille qu'on est seulement prévenu du passage des dépêches.

Il n'est pas besoin de dire que, pour comprendre ainsi une dépêche au son, il faut une oreille très attentive, et encore est-il nécessaire, afin d'éviter les erreurs, que deux employés écoutent la même dépêche et la transcrivent séparément.

L'inconvénient des dépêches reçues au téléphone est l'absence de toute inscription automatique ; mais les progrès sont si rapides qu'on arrivera certainement à faire fonctionner l'appareil Morse pour les distances les plus lointaines.

Poste récepteur avec téléphone. — Nouveaux radio-conducteurs ou les détecteurs

Lorsqu'on reçoit les dépêches au moyen d'un téléphone, le poste récepteur se trouve bien simplifié : un élément de pile, un téléphone, un trépied-disque ou tout autre radio-conducteur, et c'est tout. Ici, plus de relais, plus de choc, plus d'électro-aimant, plus d'enregistreur Morse.

Tout mouvement mécanique devient inutile.

Avant d'aller plus loin, il est bon de faire connaître de nouveaux radio-conducteurs extrêmement sensibles, permettant de percevoir des dépêches provenant d'une distance considérable.

M. Branly avait insisté dès 1891 sur les grandes analogies que présente la conductibilité des radio-conducteurs avec l'électrolyse et le magnétisme. Les nouveaux révélateurs sont précisément magnétiques et électrolytiques.

Marconi se sert de préférence du révélateur magnétique; le capitaine Ferrié emploie, à la tour Eiffel, le révélateur électrolytique.

Remarque. — On a abandonné les noms de radio-conducteur ou de révélateur primitivement donnés aux appareils sensibles à l'action des ondes électriques; on les désigne actuellement sous le terme général de *détecteur*, sans doute parce que cette expression nous vient d'Angleterre.

Conformons-nous à cet usage et donnons la

description du détecteur électrolytique du capitaine Ferrié (*fig.* 17).

Le détecteur électrolytique est constitué par

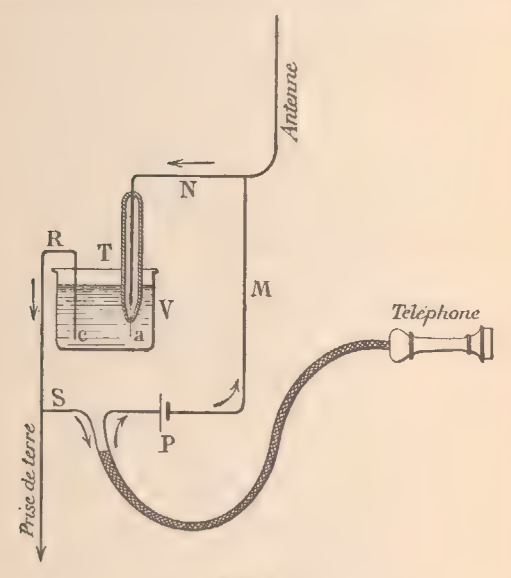


Fig. 17.

de l'eau acidulée contenue dans un vase V. Deux fils de platine plongent dans cette solution. L'un de ces fils, qui est isolé dans un tube de verre T, ne laisse affleurer au contact du liquide

qu'une pointe *a*, très fine, de $\frac{1}{50}$ à $\frac{1}{100}$ de millimètre. L'autre fil *c* de platine est de grosseur quelconque [1].

Ces deux fils forment les électrodes ou conducteurs de la petite pile P. Le courant parcourt le fil MN, traverse la solution acidulée de *a* en *c*, suit le fil RS, passe par le téléphone et revient à la pile P.

Tout est disposé pour que le contact *a*, entre le fil et le liquide, soit aussi faible que possible; c'est ce qu'on appelle un contact imparfait.

Dans ces conditions, un courant continu de très faible intensité passe par le téléphone sans faire entendre aucun bruit; mais, dès qu'une étincelle éclate au loin, ce courant devient su-

[1] Dans la figure 17, le courant électrique qui va de *a* en *c* décompose l'eau en ses éléments : oxygène et hydrogène. L'un se rend au pôle positif; l'autre, au pôle négatif. Cette décomposition est appelée *électrolytique*, d'où le nom donné au révélateur ci-dessus. C'est l'eau qui a fourni le premier exemple de décomposition par le courant. Cependant l'eau pure est indécomposable; mais, quand ce liquide est acidulé, on peut l'électrolyser.

bitement énergique sous l'influence des ondes électriques recueillies par l'antenne réceptrice, et le téléphone fait entendre un bruit sec. Plusieurs étincelles se succédant rapidement donnent un son prolongé, d'où la brève et la longue, qui permettent de lire la dépêche au son[1].

*
* *

On peut, également, au moyen du trépied-disque, dont nous avons donné plus haut la description, recevoir des dépêches provenant d'une longue distance. La figure 18 donne le dispositif de M. Branly.

Les pointes du trépied sont en charbon poli; le disque est en acier trempé, également poli.

(1) D'après une théorie admise, il se forme par l'électrolyse une petite bulle de gaz à la fine pointe de platine *a* qui plonge dans le liquide acidulé; cela suffit pour arrêter le faible courant de la pile P; mais, sous l'influence de chaque train d'ondes, la bulle crève, le courant passe subitement, agit sur le téléphone qui produit un son.

Le courant va de la pile P aux pointes du trépied par le circuit MN, traverse le disque D et revient à la pile en passant par le téléphone.

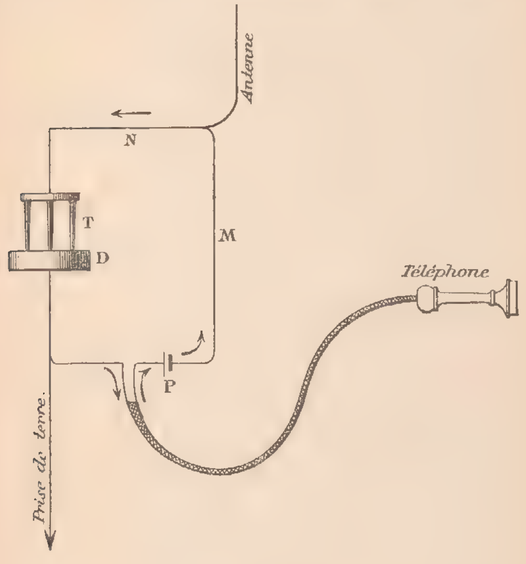


Fig. 18.

Ce courant, s'il n'est pas nul, est du moins d'une très faible intensité, à cause du contact imparfait qui existe entre les pointes du trépied et le disque ; mais, comme précédemment,

il devient plus énergique sous l'action des étincelles et produit dans le téléphone les effets que nous venons de décrire.

La plus grande analogie existe entre ces deux postes téléphoniques, l'un fonctionnant avec le nouveau détecteur, l'autre avec un trépied-disque. Cette analogie était intéressante à constater.

La syntonisation

Une étincelle émise par un poste transmetteur rayonne autour d'elle et impressionne tous les postes récepteurs qui sont contenus dans sa sphère d'action. Parfois très précieuse, cette dissémination des dépêches peut devenir indiscrète ou dangereuse. Il est donc essentiel de chercher à obtenir, dans certains cas, une communication exclusive entre deux stations. On y est parvenu par un accord spécial des deux postes, appelé *syntonisation*.

Afin de faire comprendre la possibilité de cet accord essentiel pour l'avenir de la télégraphie sans fil, nous allons rappeler et développer des notions simplement esquissées à la page 49.

Un exemple vulgaire, le jeu de l'escarpolette, aidera à faire connaître le mécanisme de la syntonisation.

Supposons que l'oscillation libre d'une balançoire mise en mouvement dure une seconde pour l'aller et le retour et qu'une personne lui imprime une impulsion à chaque retour et, par conséquent, à chaque seconde; il y aura une concordance parfaite entre la force agissante et le mouvement périodique. Dans ces conditions, les impulsions successives s'ajoutent et les oscillations de l'escarpolette augmentent rapidement d'amplitude.

Prenons un autre exemple de concordance mécanique, celui d'un régiment d'infanterie traversant un pont suspendu : si la durée du pas régulier des soldats est précisément égale à la durée des vibrations libres du pont, il en résultera, à chaque pas, une oscillation plus grande, et les

câbles de suspension, en se tendant de plus en plus sous ces impulsions répétées, pourront se rompre.

Nous voyons ici de faibles impulsions qui, en s'ajoutant périodiquement, peuvent produire finalement un plus grand effet qu'un choc très énergique.

Mais, si la fréquence du pas des soldats est différente de la fréquence des oscillations libres du pont, les impulsions successives de la marche ne s'ajouteront plus : le pont vibrera faiblement et pourra supporter sans danger une charge beaucoup plus grande.

* * *

Ces effets mécaniques peuvent se reproduire à distance en acoustique.

Supposons qu'une tige en acier soit solidement fixée à sa partie inférieure et que l'extrémité vibre librement après avoir été écartée de sa position d'équilibre. On la voit exécuter une série d'oscillations dont l'amplitude va en s'amor-

tissant peu à peu et finit par s'annuler : d'où un son musical qui s'affaiblit lentement et s'éteint avec le mouvement même.

Imaginons, dans le voisinage, une seconde tige d'acier pouvant vibrer avec la même fréquence ; elle sera successivement soumise aux impulsions des ondes sonores transmises par l'air, et, comme dans le jeu de la balançoire, elle prendra un mouvement oscillatoire qui ira en augmentant rapidement ; ces deux tiges vibreront donc à l'unisson.

Ce même accord s'établit d'ailleurs entre deux instruments de musique de formes différentes. Ainsi de toutes les cordes renfermées dans un piano, un diapason [1] n'en fera vibrer distinctement qu'une seule, celle qui donne la même

(1) Le diapason est un petit instrument en acier en forme d'U. Les deux branches, après avoir été écartées brusquement, donnent une note déterminée. Le diapason normal, en France, fait 870 vibrations par seconde pour donner le *la*. On peut construire des diapasons dont la fréquence des vibrations est de 7500. L'oreille en apprécie la note extrêmement aiguë, mais il faut ajouter que ce n'est pas sans souffrance.

note. Cependant les autres cordes vibreront aussi, mais elles ne feront entendre qu'un son très faible. Il n'y a plus concordance.

Ce phénomène de vibration à distance entre deux corps sonores de même ton prend en acoustique le nom de résonnance.

*
* *

Dans la télégraphie sans fil nous trouvons un phénomène analogue appelé la *syntonisation*. Les tiges métalliques dont nous venons de parler représentent les deux antennes qui se dressent au-dessus des postes transmetteur et récepteur.

Slaby a fait voir que l'antenne qui vibre électriquement donne des ondes dont la longueur est égale à quatre fois sa propre hauteur : ainsi une antenne de 75 mètres produit des ondes de 300 mètres de longueur (1).

(1) La longueur d'onde de 300 mètres, fréquemment employée pour les communications de 100 à 500 kilomètres, a été prescrite pour les navires marchands de tous les pays (Congrès international tenu à Berlin, novembre 1906).

En réglant la hauteur de l'antenne, on obtiendra donc des ondes qui auront la longueur et par conséquent la note voulue.

Si les antennes transmettrice et réceptrice ont les mêmes dimensions, et que par une étincelle on fasse vibrer la première, les ondes transmises par l'éther viendront frapper la seconde, et les deux antennes vibreront à l'unisson.

Toutefois, au début, la syntonisation a été difficile à obtenir.

En effet, tandis que les ondes acoustiques, produites par un diapason, ne s'amortissent que lentement après des milliers d'impulsions consécutives, l'antenne qu'on faisait vibrer par une étincelle ne pouvait donner qu'un petit nombre d'ondes électriques, car leur amortissement était rapide. La première onde comprenait presque toute l'énergie de la décharge, et, les suivantes étant faibles, il en résultait que l'action totale à distance était comparable à un choc unique (*fig.* 19).

Par ce choc qui frappe brusquement de la même façon toutes les antennes réceptrices, jusqu'à

une grande distance, on transmet les dépêches dans toutes les directions, mais on ne peut obtenir aucune syntonisation entre deux postes.

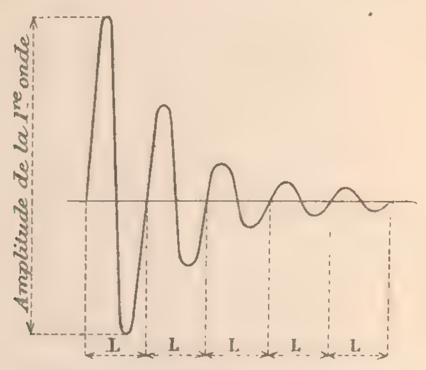


Fig. 19. — Groupe d'ondes fourni par une étincelle. Amortissement rapide (1).

Pour arriver à ce résultat, il ne suffit pas de produire des ondes électriques dont la note

(1) Nota. — On voit, par la figure 19, que les ondes conservent leur longueur L et, par conséquent, leur fréquence pendant toute la durée des vibrations. La note ainsi déterminée reste donc invariable ; mais en se propageant, son intensité, son énergie va en diminuant comme l'amplitude des ondes, de même que le son d'une cloche s'affaiblit à mesure qu'elle s'éloigne.

est déterminée, il faut encore qu'elles s'amortissent lentement comme les ondes acoustiques. Il en résultera des vibrations électriques qui seront comparables non plus à un bruit, mais à un son musical.

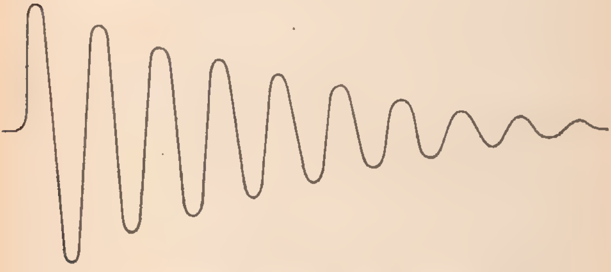


Fig. 20. — Groupes d'ondes fourni par une étincelle. Amortissement ralenti.

De grands progrès ont été faits, et l'on peut maintenant faire éclater une étincelle qui permet de se rapprocher de la résonnance acoustique (*fig.* 20).

L'antenne transmettrice qui vibre sous l'action d'une pareille étincelle, projette dans l'espace une longue série d'ondes; si l'antenne réceptrice est en concordance, les impulsions

successives de ces ondes s'ajoutent et produisent finalement un fort mouvement vibratoire électrique. Pendant ce temps très court, les appareils du poste récepteur entrent en fonction, le Morse imprime un point, ou le téléphone fait entendre un bruit.

Les antennes réceptrices qui ne sont pas à l'unisson vibreront avec une très faible intensité, sous ces mêmes impulsions qui ne s'accumuleront plus, et les postes récepteurs ne pourront pas fonctionner.

La syntonisation favorise donc le secret des dépêches ; elle étend en même temps leur portée, pour une même dépense d'énergie ; car les petites impulsions qui s'ajoutent font plus d'effet qu'un choc unique.

D'après ce qui précède, l'on voit que, pour syntoniser deux postes, il suffit, toutes choses égales d'ailleurs, de les surmonter d'antennes identiques ; toutefois, les antennes les plus variées que nous avons passées en revue pourront vibrer à l'unisson, comme les instruments de musique les plus dissemblables. En effet, si

l'antenne est un facteur important de la syntonisation, il en est d'autres dont il faut tenir compte, mais qui ne trouvent pas leur place dans un livre de vulgarisation [1].

Les essais de syntonisation poursuivis en France par Tissot, en Angleterre par Marconi, en Allemagne par Slaby et Braun, ont conduit à accorder deux postes avec une précision suffisante pour qu'ils ne soient que très rarement troublés par d'autres. On a même pu faire en sorte que plusieurs dépêches émises par différents postes fussent reçues séparément par un même poste sans s'enchevêtrer.

[1] M. Tissot a fait des expériences de la plus grande importance sur la syntonisation. Nous regrettons de ne pouvoir aborder ici ces questions savantes. Voir, à ce sujet, son ouvrage : *Étude de la résonnance des systèmes d'antennes*, édité par Gauthier-Villars, Paris.

Concentration des ondes électriques ou direction des dépêches

Nous savons que les ondes électriques, à cause de leur grande diffraction, ne peuvent être dirigées comme les rayons lumineux au moyen d'une lentille ou d'un réflecteur.

Cependant, par des procédés différents encore à l'étude, on arrive à concentrer les ondes qui se dispersent et à les projeter dans une direction unique; de là encore un nouveau moyen d'augmenter considérablement la portée des dépêches et de garder leur secret.

Cette question fera l'objet d'un chapitre spécial quand elle sera plus avancée.

La téléphonie sans fil ou la transmission de la parole

Il ne s'agit plus ici de la réception des dépêches par le téléphone et de leur lecture au son, mais de la transmission de la parole même ainsi qu'on l'obtient depuis longtemps avec le téléphone ordinaire attaché à un fil conducteur.

Cette expérience de la transmission de la parole par les ondes électriques a été faite entre Berlin et la station de Nauen. Nous reviendrons sur cette nouvelle et curieuse application de ces ondes. (Voir le *Supplément*.)

Dernière nouvelle de l'année 1907. Transmission des dépêches en une seule portée par-dessus l'Océan.

L'année 1907 s'est terminée par une nouvelle sensationnelle. Nous avons vu, au commence-

ment de ce chapitre, que Marconi était parvenu, en 1903, à lancer directement, d'une rive à l'autre de l'Océan Atlantique, quelques signes isolés ne pouvant donner aucun résultat pratique. Grâce à son incomparable activité, il ne pouvait tarder à faire mieux. Il transmet aujourd'hui de véritables messages, en une seule portée, d'Europe en Amérique.

Les communications s'effectuent entre les postes de Clifton (Irlande) et de Glace-Bay (île du cap Breton, Canada), soit sur une distance de 4.000 kilomètres environ.

Telle est la plus grande portée pratique atteinte jusqu'à ce jour ; elle bat de loin les records du monde entier.

Ce résultat a été obtenu le 17 octobre 1907. Voilà encore une date mémorable dans les annales de la science !

On communique aujourd'hui de Londres à New-York par cette voie aérienne, en attendant qu'on puisse le faire directement de la tour Eiffel.

Déjà les Sociétés des câbles commencent à

s'inquiéter des progrès rapides de la télégraphie sans fil et de la concurrence que peut leur faire la Compagnie Marconi. L'*Economist* anglais vient de consacrer un article à cette question. C'est que, sur seize câbles qui réunissent actuellement l'Amérique à l'Europe, il y en a douze qui aboutissent en Angleterre.

Résumé

Les progrès importants de la télégraphie sans fil sont :

1° Les antennes puissantes et les radio-conducteurs ou détecteurs, d'une extrême sensibilité, qui augmentent considérablement la portée des dépêches;

2° L'emploi d'ondes électriques de très grande longueur, 2.000 mètres et plus encore, permettant, par leur énergie, de franchir les plus hautes montagnes et de traverser les continents;

3° La production d'ondes électriques à faible amortissement donnant une syntonisation plus complète;

4° Des essais encourageants dans la direction des dépêches;

5° Enfin, la transmission de la parole par la téléphonie sans fil.

*
* *

On voit, par ces exemples, combien la télégraphie sans fil s'est développée en peu de temps; puisque les premières découvertes de M. Branly ne datent que de 1890.

La télégraphie sans fil a encore bien des défauts, avons-nous dit; mais ce sont là des défauts de jeunesse qui disparaîtront avec l'âge. Son passé répond de l'avenir.

Déjà elle a atteint un tel degré d'importance que les Gouvernements songèrent à se réunir pour étudier les meilleurs moyens de s'entendre sur cette question. L'empereur d'Allemagne, lui-

même, prit l'initiative de ce Congrès international.

Il eut lieu à Berlin, le 3 novembre 1906, et les représentants des Gouvernements réunis en Conférence signèrent les conventions qui y furent arrêtées.

CHAPITRE IV

QUEL EST L'INVENTEUR DE LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

Il convient maintenant de dire quelle est la part qui revient à chacun dans cette merveilleuse découverte.

C'est en 1890 et 1891 que M. Branly a fait connaître par des communications à l'Académie des Sciences, à la Société française de Physique, à la Société française internationale des Électriciens, au journal *la Lumière électrique* et à quelques revues scientifiques, la propriété surprenante du tube à limaille, *sans lequel il n'y aurait pas de télégraphie sans fil.*

A cette époque, M. Branly a fait son expérience fondamentale qui est l'*image de la télégraphie sans fil.*

En effet, il se servait, comme maintenant, de deux postes : un poste transmetteur où il se produisait des étincelles, et un poste récepteur contenant un tube à limaille et un galvanomètre intercalés dans le circuit d'une pile. Au moyen des étincelles, il provoquait à volonté des déviations de l'aiguille aimantée. C'est par de semblables déviations de l'aiguille que l'appareil Wheatstone a fonctionné pendant si longtemps en Angleterre pour la communication des dépêches dans la télégraphie sans fil.

Dans les expériences du début, les actions se produisaient entre deux postes à une distance de plus de 20 mètres à travers les cloisons et les murailles. Elles se produisaient encore à l'air libre à plus de 100 mètres.

Enfin M. Branly a montré par ses expériences qu'on augmente la portée des dépêches en faisant usage, aux deux postes, de tiges métalliques, auxquelles on a donné plus tard le nom d'antennes.

Telles sont toutes les expériences fondamentales que M. Branly a faites pour la première

fois en 1890 et qu'il a répétées souvent dans des conférences. Pour tous ceux qui connaissent l'importance capitale des faits ci-dessus, *la télégraphie sans fil était inventée dès cette époque.*

Les mêmes appareils peuvent servir à de grandes distances en employant des antennes élevées et des étincelles énergiques. Ils devront nécessairement subir les perfectionnements qui sont inhérents à toute nouvelle invention qui sort du laboratoire et que l'on met en pratique, mais cela ne change en rien le principe.

Cependant ces résultats surprenants passent inaperçus en France, et il faut qu'elles nous reviennent d'Angleterre pour attirer notre attention.

*
* *

Voyons maintenant le rôle de M. Marconi.

Il reprend plus tard les expériences de M. Branly; il remplace le galvanomètre système Wheatstone par l'appareil Morse, pour ne rien

changer aux habitudes (1), et, avec une persévérance inlassable, il fait croître la distance des postes en augmentant surtout la hauteur des antennes et l'énergie des étincelles. Il arrive ainsi, pas à pas, de kilomètre en kilomètre, aux expériences sensationnelles de Douvres à Wimereux près de Boulogne.

Et, avec une loyauté qui lui fait le plus grand honneur, M. Marconi voulut que sa première dépêche fût pour M. Branly. C'est ainsi qu'il rendit hommage à l'inventeur.

Enfin M. Marconi a pu obtenir une commu-

(1) L'appareil Wheatstone ne communique les dépêches que par les oscillations de l'aiguille aimantée du galvanomètre. Il a l'inconvénient de ne laisser aucune trace écrite ; il n'en est pas de même de l'appareil Morse qui imprime la dépêche. Cependant ce dernier appareil a aussi ses défauts : c'est d'exiger un grand nombre de brèves et de longues pour exprimer chaque lettre de l'alphabet ; plusieurs même de ces lettres demandent une combinaison de cinq signes, comme pour tous les chiffres d'ailleurs. Ainsi, pour écrire le millésime 1906, il faut une combinaison de 10 longues et de 10 brèves, soit 20 signes.

Toutes ces complications sont la cause de nombreuses erreurs. Il y a là un progrès très important à réaliser.

nication entre les États-Unis et l'Angleterre. Son mérite est grand, l'entreprise était difficile. Il a heureusement résolu tous les problèmes qui se sont présentés. Il lui a fallu le secours du Post Office et d'une puissante société financière. L'Angleterre n'a pas marchandé son appui.

Pendant ce temps M. Branly continuait ses recherches avec les faibles ressources de son laboratoire, et il vient de faire une nouvelle application des plus surprenantes du tube à limaille; nous voulons parler de la *télémécanique*. Nous rendrons compte, dans le chapitre suivant, d'une conférence qu'il a faite à ce sujet, le 30 juin 1905, dans la salle du Trocadéro, devant un auditoire de 5.000 personnes.

Nous dirons, en terminant ce chapitre, les noms des savants qui ont le plus contribué à la création et au perfectionnement de la télégraphie sans fil.

Après MM. Branly et Marconi, ce sont, par ordre alphabétique :

M. Braun, professeur en Allemagne ; —

M. Cervera, capitaine en Espagne; — M. Ducretet, constructeur à Paris [1]; — M. Ferrié, capitaine du génie en France; — M. Lodge, professeur en Angleterre; — M. Popof, professeur en Russie; — M. Rochefort, ingénieur en France; — M. Slaby, professeur en Allemagne; — M. Tissot, lieutenant de vaisseau en France.

Parmi les savants qui ont contribué aux progrès de la télégraphie sans fil, nous devons mentionner aussi M. Poincaré qui, par des considérations théoriques, a élucidé bien des questions, pour le plus grand profit de la pratique (voir p. 66, 67).

(1) M. Ducretet est le premier qui ait construit des appareils utilisables pour les postes de télégraphie sans fil.

CHAPITRE V

LA TÉLÉMÉCANIQUE SANS FIL

Ce que l'on peut faire dans une forteresse abandonnée.

Il est ici question d'une nouvelle découverte de M. Branly, découverte à laquelle il a donné le nom de télémécanique. Les nouveaux appareils qui en dépendent ont été imaginés et construits par l'inventeur.

La télémécanique donne le moyen de commander, à distance, différentes machines par les ondes électriques, dans des conditions des plus variées.

L'organe essentiel de cette découverte est toujours le tube de Branly, et l'on peut dire que la télégraphie sans fil est une application fort simple de la télémécanique : en effet nous avons vu que, sous l'action d'une étincelle lan-

cée à distance, l'électro-aimant de l'appareil Morse s'anime, et que son levier inscrit un point sur la bande de papier. Ce résultat est-il obtenu, il faut une seconde étincelle pour marquer un second point, et ainsi de suite. Le mouvement mécanique alternatif de cet appareil est donc instantané, instantané comme l'étincelle qui lui a donné naissance.

Mais, dans la plupart des cas, il est indispensable que la machine mise en mouvement continue son travail quand l'étincelle qui l'a entraînée cesse d'agir, et il est non moins utile de l'arrêter à volonté par une nouvelle étincelle.

Enfin, dans certaines circonstances, il peut être avantageux de conduire, à grande distance, plusieurs machines à la fois ou successivement, *sans même les voir*.

Voilà le véritable but de la télémécanique, problème fort difficile à résoudre. Il était réservé à M. Branly d'en trouver une solution complète.

Disons d'abord que dans la télémécanique, comme dans la télégraphie sans fil à grande

portée, on se sert d'un oscillateur auquel sont annexées des bouteilles de Leyde. Les décharges instantanées de ces bouteilles donnent lieu à des étincelles dont les vibrations électriques se propagent très loin.

Nous allons présenter quelques expériences de la télémécanique ; nous verrons ensuite comment on peut les réaliser.

Comme exemple, nous supposerons une forteresse qu'on a dû abandonner après avoir eu le temps d'y faire *certains préparatifs*.

Eh bien, à 20 ou 50 lieues de cette forteresse, un opérateur, assis dans sa chambre devant un oscillateur, pourra, en pressant un bouton, allumer un phare sur une tour, l'éteindre et le rallumer autant de fois qu'il le voudra ; sur une autre tour, il mettra en mouvement les bras d'un sémaphore pour donner les signaux convenus ; puis il fera partir des canons placés sur les remparts, ouvrira les écluses, soulèvera les ponts-levis ; enfin, quand il le jugera convenable, fera sauter la forteresse.

Mais, dira-t-on, comment l'opérateur est-il

au courant des effets qu'il produit, puisqu'il est trop loin pour les voir, trop loin pour les entendre?

Nous entrons de plus en plus dans le domaine de la féerie, car l'opérateur, fût-il enfermé dans sa cabine à 20 lieues de la forteresse abandonnée, n'en recevra pas moins des dépêches automatiques. En effet, dans cette forteresse se trouve également un oscillateur qui produit, ainsi que nous le verrons, des étincelles à intervalles réguliers, et ces étincelles déterminent l'inscription des dépêches sur un papier Morse qui se déroule devant l'opérateur. Il voit donc, comme dans un miroir, tous les phénomènes qu'il provoque dans la place forte et peut agir en conséquence.

En résumé, par les ondes électriques, qu'il envoie, l'opérateur commande les différentes machines enfermées dans la citadelle, et par les ondes automatiques qu'il en reçoit il est tenu au courant de toutes les opérations qu'il effectue et peut les suivre dans leurs phases comme s'il était sur les lieux mêmes.

Voilà bien l'action mécanique à distance, sans aucun intermédiaire matériel, que les médiums de nos jours prétendent obtenir par leur seul fluide. Attendons.

*
* *

Par quel mécanisme peut-on produire les différentes expériences de la télémécanique que nous avons décrites?

C'est ce que M. Branly nous a appris dans une conférence qu'il a faite dans la salle du Trocadéro, le 30 juin 1905. Nous allons essayer d'en rendre compte.

CONFÉRENCE

FAITE PAR M. BRANLY, DANS LA SALLE DU TROCADÉRO, LE 30 JUIN 1905

Le professeur d'Arsonval, membre de l'Institut, présidait cette conférence à laquelle assistaient plus de cinq mille personnes. Dans une allocution que nous regrettons de ne pouvoir transcrire, il montre la part énorme que M. Branly a prise dans l'invention de la télégraphie sans fil qui n'existerait pas sans le radio-conducteur, et il énumère tous les services que rendra la télémécanique, cette autre application plus merveilleuse encore.

M. Branly prend ensuite la parole pour expliquer les expériences de la télémécanique, et pour cette démonstration il se sert des appa-

reils qu'il a imaginés et construits de toutes pièces dans son laboratoire.

Dans la télémécanique, comme dans la télégraphie sans fil, il y a deux postes : le poste transmetteur d'où l'opérateur lance les étincelles, et le poste récepteur où se trouvent les appareils qui doivent être animés par ces mêmes étincelles.

Dans la salle du Trocadéro le poste transmetteur était placé au sommet de l'hémicycle, et le poste récepteur sur la scène de l'amphithéâtre. Mais ces deux postes peuvent être séparés par une distance beaucoup plus considérable.

Précisons maintenant les choses :

Nous supposerons que le poste transmetteur se trouve à 100 kilomètres du Trocadéro. C'est de ce poste, et sans qu'il puisse les voir, que l'opérateur dirigera *seul* toutes les expériences qui ont été préparées sur la scène, et cela en faisant éclater des étincelles.

Sur la scène qui constitue, pour les spectateurs, le poste récepteur, aucun opérateur n'est nécessaire.

Les appareils exposés devant nous étaient :

1° Un revolver qui fera feu au commandement;

2° Un ventilateur à ailettes;

3° Un groupe de lampes électriques qu'on allumera ou éteindra à volonté;

4° Un électro-aimant qui soulèvera un poids ou le laissera retomber;

5° Enfin un oscillateur ayant pour rôle de lancer des étincelles automatiques au moment voulu.

Pour exécuter les quatre expériences, il faut que chacun de ces appareils soit intercalé dans un circuit spécial avec sa pile respective. Si chaque circuit était muni de son tube à limaille, il est bien évident qu'une seule étincelle, émanant du poste transmetteur, établirait à la fois tous les courants et réaliserait *simultanément* tous les effets.

Mais ce n'est pas le résultat qu'on se propose d'effectuer. L'opérateur du poste transmetteur doit produire, non pas simultanément, mais *successivement* les expériences.

A un moment donné, sous l'action des étincelles lancées du poste transmetteur, les spectateurs voient successivement les phénomènes suivants :

Les lampes à incandescence s'allument, le ventilateur à ailettes se met à tourner, l'électro-aimant soulève un boulet de 15 kilogrammes, et le revolver fait entendre une détonation.

Puis, quand l'opérateur le juge convenable, il lance au moment opportun de nouvelles étincelles, et alors successivement l'électro-aimant laisse retomber le boulet, les lampes s'éteignent, on entend un second coup de revolver, le ventilateur cesse de tourner.

Et l'opérateur recommence toutes ces expériences dans *l'ordre qui lui plaît*, les laisse durer aussi longtemps qu'il le veut, de même qu'il peut les suspendre dans un *ordre différent*.

Axe distributeur

L'appareil qui préside au poste récepteur, en temps voulu, aux diverses actions, consiste en un axe cylindrique, en acier, tournant lentement à l'aide d'un petit moteur électrique. L'opérateur peut à distance le mettre en marche ou l'arrêter, comme les autres appareils, au moyen des étincelles.

M. Branly a donné à cet appareil de son invention le nom d'*axe distributeur*, en raison de sa fonction.

L'axe distributeur porte des disques métalliques isolés les uns des autres. Chacun de ces disques commande l'ouverture ou la fermeture du circuit spécial à l'expérience qu'on veut réaliser. Pour cela la circonférence du disque est renflée sur un secteur qui presse sur une tige à ressort, ce qui établit, pendant une fraction de tour, un contact qui laisse passer le courant électrique.

C'est pendant le contact du secteur que l'opérateur peut, en faisant éclater une étincelle, produire ou suspendre l'effet que commande le disque.

Pour exécuter les quatre expériences préparées sur la scène, l'axe distributeur porte donc quatre disques.

Cependant un cinquième disque est nécessaire : il est affecté au service du petit moteur électrique qui fait tourner l'axe distributeur. Il porte, comme les autres, un secteur renflé et fonctionne exactement de la même façon. Pour chaque disque, le contact du secteur renflé correspond à un cinquième de tour.

L'opérateur ne pouvant se rendre compte, à distance, de la position des disques qui ouvrent et ferment les différents circuits, ni du moment pendant lequel il doit lancer son étincelle pour réaliser telle ou telle expérience, il faut bien qu'il soit renseigné à ce sujet d'une façon quelconque. C'est ici que la télégraphie automatique sans fil intervient.

Télégraphie automatique sans fil

ÉTINCELLES INDICATRICES ET ÉTINCELLES DE CONTROLE

Les choses sont disposées de telle façon que, lorsque l'axe distributeur commence à tourner, la télégraphie sans fil automatique fonctionne aussitôt, et voici comment.

Un *disque spécial* fixé sur l'axe distributeur porte sur son pourtour cinq groupes composés d'une, deux, trois, quatre et cinq dents saillantes. Chaque dent, par son contact avec un ressort, établit un courant et fait éclater une étincelle. Il en résulte que, pour une révolution entière de l'axe, on obtient cinq groupes d'une, deux, trois, quatre et cinq étincelles.

Ce sont les *étincelles indicatrices.*

Nous les voyons et nous les entendons distinctement. Elles se produisent entre les deux

boules de l'oscillateur placé sur la scène.

Elles partent en groupes, séparées par des intervalles de temps à peu près égaux et parviennent au poste transmetteur distant de 100 kilomètres. Là elles s'impriment en dépêches sur le papier Morse qui se déroule avec une vitesse uniforme devant l'opérateur.

Jetons un coup d'œil sur cette bande de papier : Un point s'inscrit d'abord, puis successivement apparaissent des groupes de 2, de 3, de 4, de 5 points rapprochés ; ce qui correspond à un tour entier de l'axe distributeur, et les mêmes inscriptions se reproduiront dans le même ordre aux tours suivants.

Les intervalles qui séparent ces groupes sont sensiblement égaux, ils ont à peu près 10 centimètres de longueur. Cette longueur, restée en blanc sur la bande de papier, met environ 10 secondes pour se dérouler.

Pour les expériences qui avaient été préparées au Trocadéro, l'intervalle de 1 à 2 était réservé à la détonation du revolver ; l'intervalle de 2 à 3, à la mise en mouvement du venti-

lateur ; l'intervalle de 3 à 4, à l'illumination des lampes ; l'intervalle de 4 à 5, à l'aimantation de l'électro-aimant qui soulevait le boulet ; et, enfin, l'intervalle de 5 à 1 était réservé au moteur électrique qui faisait tourner l'axe distributeur.

C'est dans ces intervalles qu'ont lieu successivement les contacts utiles des secteurs renflés avec les tiges à ressorts.

Quand l'opérateur veut commencer les expériences, il lance une étincelle qui déclanche le courant du petit moteur électrique, et l'axe distributeur commence à tourner.

Maintenant, pour exécuter une expérience quelconque, allumer, par exemple, les lampes électriques que nous voyons sur la scène, l'opérateur, les yeux fixés sur la bande de papier Morse qui se déroule, attend l'intervalle de 3 à 4. C'est pendant ce moment qui dure environ 10 secondes qu'il fait éclater une étincelle. C'est aussi pendant ce temps que le tube à limaille se trouve dans le circuit de l'expérience à réaliser. Ce tube, sous l'action de l'étincelle, devient bon

conducteur, le courant de la pile s'établit, et les lampes s'allument.

Après plusieurs tours de l'axe distributeur, quand l'opérateur le jugera convenable, il éteindra les lampes, au moment où le même intervalle de 3 à 4 se déroulera de nouveau, en lançant une nouvelle étincelle. Et, de la même façon, il exécutera toutes les autres expériences.

Enfin, il arrêtera le moteur qui communique à l'axe distributeur son mouvement de rotation et il le fera comme pour les autres opérations en lançant une dernière étincelle pendant l'intervalle qui lui est spécial, c'est-à-dire pendant l'intervalle de 5 à 1, et tout rentrera en repos sur la scène.

L'opérateur ne pourrait mener à bien toutes les opérations au moyen des simples dépêches automatiques que nous venons d'indiquer. En effet, placé hors de la salle du Trocadéro, comment saurait-il si les ordres qu'il transmet sont exécutés sur la scène? Pour le renseigner complètement à ce sujet, il est utile qu'il re-

çoive d'autres dépêches. Ce sont les *dépêches de contrôle.*

Nous dirons simplement que les étincelles qui les produisent éclatent comme les autres entre les deux boules de l'oscillateur que nous voyons sur la scène, mais elles s'en distinguent par un son moins bref et vont s'inscrire en traits allongés sur le papier Morse du poste transmetteur.

La vue d'un de ces traits allongés précédant l'un des groupes de points indicateurs prévient l'opérateur que le phénomène correspondant a obéi à son ordre.

Ainsi, pour les expériences en question, l'opérateur qui a lancé une étincelle pour allumer devant nous les lampes à incandescence, saura que l'effet est produit, s'il voit un trait allongé précédant le groupe de quatre points. Il pourra ensuite éteindre ces lampes quand il le voudra, en employant le moyen que nous avons indiqué [1].

[1] Pour produire les étincelles de contrôle, l'axe distributeur porte, outre les disques à renflement dont nous

*
* *

Telles sont les dépêches automatiques qui partent continuellement de la scène et vont s'inscrire au poste transmetteur. Grâce à ces dépêches l'opérateur peut à une grande distance diriger toutes les expériences que nous voyons.

Ajoutons que les étincelles automatiques peuvent également actionner une sonnerie électrique qui tient l'opérateur en éveil.

*
* *

Tous les spectateurs qui ont assisté à la séance du Trocadéro ont remarqué avec quelle

avons donné une description sommaire, d'autres disques qui sont des disques de contrôle munis chacun d'une dent. Un disque de contrôle est annexé à chaque expérience; la dent qu'il porte établit, par son contact, le courant de l'oscillateur, d'où il résulte une étincelle de contrôle à chaque tour de l'axe, tant que persiste le phénomène auquel il se rapporte.

précision les différentes opérations marchaient simultanément ou isolément, puis s'arrêtaient et reprenaient à la volonté de l'opérateur.

Ces expériences étaient, il est vrai, dirigées à une petite distance ; mais nous savons que les ondes électriques, par leur action sur un tube à limaille, déclanchent aussi bien le courant d'une pile à 100 kilomètres qu'à 10 mètres.

Quatre expériences seulement avaient été préparées dans la salle du Trocadéro ; il est bien entendu qu'on peut en réaliser un plus grand nombre. Pour produire, par exemple, dix expériences distinctes, il faudra onze disques, l'un d'eux étant affecté comme précédemment au moteur électrique qui fait tourner l'axe distributeur. Il n'est pas besoin de dire que, pour un grand nombre d'expériences, on augmentera le rayon de ces disques et qu'on les fera tourner plus lentement, afin que l'opérateur ait le temps d'exécuter convenablement les manœuvres.

Avant d'aller plus loin, il est essentiel de faire remarquer qu'un seul tube à limaille suffit au poste récepteur pour les divers circuits des

expériences à réaliser; les circuits rayonnent autour de lui, et chacun d'eux le renferme à son tour au moment où son disque presse sur sa tige à ressort.

Procédé en cascade

Nous venons de voir sur la scène différents appareils que l'opérateur met en marche séparément par des étincelles successives en subdivisant le travail; c'est cette façon d'opérer que M. Branly recommande pour la sécurité des résultats; mais on pourra aussi, au moyen d'une seule étincelle, produire un premier effet, qui lui-même en commandera un second, celui-ci un troisième, et ainsi de suite, les actions se succédant pour ainsi dire *en cascade*.

C'est de cette façon qu'une étincelle, comme un mécanicien, mettra peu à peu une locomotive en marche, et, lorsque la machine sera lan-

cée à toute vitesse, une étincelle unique l'arrêtera en renversant la vapeur et en serrant les freins.

Qu'un encombrement inattendu survienne sur la voie, un chef de gare pourra arrêter tout un train par une étincelle et empêcher des conséquences fâcheuses.

De même, une seule étincelle allumera un phare, déclanchera un moteur, et l'appareil optique prendra son mouvement de rotation pour projeter sa lumière dans toutes les directions. Une nouvelle étincelle éteindra le phare et arrêtera le moteur.

Nous supposons ici que ce phare est construit sur un rocher à peine accessible et où il serait à peu près impossible d'entretenir un gardien en permanence pendant la nuit.

On fera, dit M. Branly, bien des objections à l'invention que je viens de décrire ; il faut s'en féliciter, car les objections suscitent des perfectionnements.

En voici une première. Comment se garer des étincelles étrangères imprévues, atmosphé-

riques ou autres qui mettraient en marche le moteur électrique et, par cela même, feraient tourner inopinément l'axe distributeur ?

Un mécanisme spécial doit mettre le poste récepteur à l'abri des perturbations.

« On objectera encore que ces appareils ne sont que des appareils de laboratoire. C'est ce qu'ils doivent être, suivant l'usage, avant de devenir industriels. Il en a été de même pour la télégraphie sans fil et pour un grand nombre d'inventions. L'industrie puise ses principes dans les laboratoires où l'on fait des recherches. »

C'est par ces dernières paroles que M. Branly termine cette mémorable séance ; puis il remercie son auditoire de sa sympathique attention.

Et tous ses auditeurs, les ignorants comme les savants, avaient appris des choses nouvelles.

APPLICATIONS DE LA TÉLÉMÉCANIQUE

en temps de paix — en temps de guerre

Quand une invention surgit, on ne manque pas de penser immédiatement aux services qu'elle pourra rendre en temps de guerre, comme si les moyens de destruction n'étaient pas suffisants : de là sont venus de nombreux essais intéressants. Ainsi des expériences sensationnelles ont été réalisées, il n'y a pas longtemps, à Antibes, avec un sous-marin construit au Creusot, d'après les plans de l'ingénieur Lalande.

Ce sous-marin, sans équipage, évolue en tous sens, obéit à des étincelles qui éclatent au loin. Il va, vient, aussi bien sous l'eau qu'à la surface, et lance une torpille en temps opportun. Dans les expériences qui ont été faites, il devait toutefois rester en vue du poste d'émission.

On pourra aussi bien diriger un aérostat sans aéronaute. On le fera monter, évoluer dans l'espace, puis revenir et descendre à son point de départ (1).

Nous voilà loin des ballons et des sous-marins imaginés par Jules Verne. C'est que les merveilles de la science sont infiniment au-dessus de tout ce que peuvent rêver romanciers et poètes.

On voit par ces expériences que la télémécanique, aussi bien que la télégraphie sans fil, peut être utilisée en temps de guerre. De la tour Eiffel, et au moyen des ondes électriques, rien ne serait plus aisé que de couper des ponts, de déterminer des explosions sous le pas des bataillons en marche, de maintenir loin des côtes une flotte ennemie, etc., etc.; mais on

(1) Il ne s'agit pas dans cet exemple de diriger le ballon par une force d'impulsion due aux étincelles; en effet, les ondes électriques ressemblent aux ondes lumineuses, elles n'exercent pratiquement sur les surfaces qu'elles frappent aucune action mécanique comparable à celle des projectiles. Cette pression existe, il est vrai, mais elle est presque nulle.

doit admettre que l'ennemi se servira des mêmes moyens pour se défendre et qu'il annulera l'action de ces ondes.

Nous venons de voir que, par des étincelles lancées du rivage, on pouvait diriger un sous-marin, lancer une torpille et faire sauter un cuirassé ; oui, tout cela est possible, mais *à la condition que le capitaine du navire voudra bien sauter.* En effet, avec un exploseur à étincelles fonctionnant sans arrêt, il interceptera toutes les communications du sous-marin, et celui-ci, privé de direction, restera en panne à la merci de l'ennemi.

Nous connaissons le rôle important que la télégraphie sans fil a joué pendant la guerre russo-japonaise. C'est grâce à elle que l'amiral Togo a pu opérer rapidement la concentration de sa flotte et anéantir la flotte russe. Cependant il faut reconnaître que, si les Japonais ont tiré bon parti de la télégraphie sans fil, les Russes n'ont pas su s'en servir. En brouillant toutes les dépêches au moyen du perturbateur ci-dessus, la concentration

de l'escadre japonaise devenait impossible.

Une conclusion s'impose. Il faut nous tenir au courant des nouveaux moyens d'attaque et de défense introduits par l'emploi des ondes électriques. De la sorte nous ne nous laisserons pas surprendre par l'ennemi et nous combattrons au moins à armes égales.

M. Branly a souvent fait remarquer qu'il a peu d'illusions sur les applications des ondes électriques en temps de guerre ; mais il ajoutait que, si ses découvertes doivent se borner à des services pacifiques, le champ d'action reste encore assez vaste.

La télémécanique ne donne-t-elle pas le moyen de réaliser à distance les effets les plus variés : ventilation d'espaces insalubres, explosions des mines, élévation des fardeaux, forage des pièces métalliques, protections diverses sur les lignes ferrées, en un mot, tous les effets du courant électrique. Les actions cherchées pourront être distinctes ou se commander les unes les autres.

Progrès de la télémécanique

Après avoir parlé des progrès de la télégraphie sans fil, nous devons nous entretenir des progrès de la télémécanique.

Disons d'abord que la télémécanique sans fil profitera des perfectionnements apportés graduellement à la télégraphie sans fil, car les incertitudes sont les mêmes. La syntonisation, par exemple, donnera une grande sécurité pour la pratique de la télémécanique.

En attendant que cette syntonisation soit absolue, M. Branly a imaginé des *dispositifs de préservation* (1) qui garantissent la télémécanique des étincelles accidentelles, telles que celles qui proviennent des orages, des dépêches qui

(1) *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, séances du 20 mars et du 22 octobre 1906.

traversent l'espace et même des automobiles en circulation.

Ajoutons que, par un accord momentané qui s'établit automatiquement entre le poste transmetteur et les différents postes récepteurs qui se trouvent dans la zone d'action, on peut choisir celui sur lequel on veut agir.

Cette méthode pourrait suppléer à la syntonisation ; mais elle n'a pour objet que de permettre de remédier aux imperfections d'une syntonisation qui n'est qu'à peu près réalisée.

Des dispositions plus récentes ont été agencées par M. Branly pour parer non seulement à des perturbations accidentelles, mais aussi à des perturbations systématiques.

NOTICE

ONDULATIONS DE L'ÉTHER

Nous avons déjà vu, page 54, que les vibrations de l'éther, en devenant de plus en plus fréquentes, se transforment successivement en ondes électriques, calorifiques, lumineuses, chimiques, etc.

Voici un tableau *très sommaire* indiquant la fréquence et la longueur de ces différentes ondes.

TABLEAU DES ONDULATIONS DE L'ÉTHER

DÉSIGNATION des ONDES		FRÉQUENCE DES ONDES par seconde ou F	LONGUEUR des ONDES OU L
Ondes électriques	Feddersen, parmi les plus longues.	500 mille	600 mètres
	Blondlot	10 millions	30 mètres
	Hertz	50 millions	6 mètres
		500 millions	6 décimètres
	Bose et Righi.....	50 milliards	6 millimètres
Ondes calorifiques parmi les plus longues		5 trillions	$0^{mm},06$
Rayons lumineux [1]	rouges ..	500 trillions	$0^{mm},0006$
	violets...	750 trillions	$0^{mm},0004$
Rayons chimiques......		900 trillions	$0^{mm},00033$
Région inconnue.......		»	»
Rayons X [2]............		3 quintillions	$0^{mm},0000001$

(1) Parmi les sept rayons lumineux, nous n'avons indiqué que les rayons rouges qui commencent la série et les rayons violets qui la finissent.

(2) D'après quelques savants, la fréquence des rayons X s'élève à plusieurs quintillions.

On a pour chacune des ondes (p. 61) :

$$F \times L = 300.000.000 \text{ mètres.}$$

Ce tableau nous donne une sorte de gamme de toutes les vibrations connues de l'éther. Les notes se suivent sans interruption depuis les ondes électriques jusqu'aux rayons chimiques ; mais entre ces derniers et les rayons X il y a une région inconnue dans laquelle il manque un certain nombre de notes ; cependant il n'est pas douteux qu'elles existent. Si nous ne pouvons pas les percevoir, c'est, avons-nous déjà dit, faute de sens pouvant être impressionnés par elles, ou d'instruments capables de les révéler.

Et maintenant, après les rayons X qui sont déjà d'une extrême fréquence, existe-t-il des rayons vibrant plus rapidement encore? C'est probable.

On n'est pas habitué, en pratique, aux nombres extraordinaires contenus dans le tableau ci-dessus ; cependant, quand on étudie les sciences, on en rencontre souvent d'aussi surprenants. Ainsi l'astronomie nous apprend que les étoiles visibles à la simple vue sont à des trillions de lieues de la terre, et le télescope

nous en fait voir une multitude d'autres qui sont infiniment plus éloignées [1].

De même, avec le nouveau microscope [2], nous pouvons apercevoir des microbes si petits qu'on en pourrait placer un million dans l'espace de 1 millimètre, et on en découvrirait encore de plus petits avec des microscopes plus puissants.

Il n'y a aucune raison pour que notre imagination s'arrête lorsqu'elle aborde l'infiniment grand ou l'infiniment petit.

[1] L'étoile α du Centaure est à 32 trillions de kilomètres de la terre, et la lumière qui en provient, malgré sa vitesse inimaginable, met trois ans et trois mois pour venir jusqu'à nous. Voilà pour l'étoile la plus près de la terre !

[2] Ce nouveau microscope (hypermicroscope) a été inventé par MM. Cotton et Mouton. Il permet de voir une longueur de 3 millionièmes de millimètre, soit $0^{mm},000003$.

SUPPLÉMENT

Nous nous proposons d'étudier dans ce *Supplément* les progrès récents de la télégraphie, de la téléphonie et de la télémécanique sans fil et, à ce sujet, nous aborderons des questions plus compliquées que celles que nous avons étudiées jusqu'à présent.

Nous commencerons par la téléphonie sans fil qui consiste à transmettre les paroles par les ondes électriques.

Microphone et téléphone

L'usage de la téléphonie ordinaire nous est familier, et nous savons tous comment, en parlant devant une petite planche sonore de sapin derrière laquelle se trouve un microphone, on

détermine des vibrations qui se transmettent par un fil conducteur à un téléphone placé à quelques centaines de kilomètres plus loin. La membrane du téléphone vibrant à l'unisson, comme le tympan de l'oreille, répète les paroles prononcées devant la planchette du microphone.

Voilà le résultat qu'il faut obtenir, non plus avec un fil conducteur, mais avec les ondes électriques.

La téléphonie sans fil
Transmission de la parole par les ondes électriques. — Arc chantant

Nous avons vu, page 71, que, sous l'action des étincelles qui éclatent entre les deux boules de l'oscillateur, l'antenne vibre presque instantanément pendant le passage rapide du train d'ondes et reste inerte, *silencieuse* pendant un temps relativement long avant de vibrer de nouveau sous l'action du train suivant.

Ces ondes sont impropres à la propagation de la parole. Elles s'amortissent rapidement en ne faisant entendre au téléphone qu'un battement, un bruit. Pour transmettre la voix, il est nécessaire de produire des ondes continues.

Poulsen, professeur à Copenhague, obtient ces ondes au moyen de l'arc chantant, et il est parvenu à leur donner une grande portée; progrès important aussi bien pour la téléphonie que pour la télégraphie sans fil.

Nous connaissons tous l'arc voltaïque employé pour l'éclairage des voies publiques, des gares, des magasins, etc..., cette lumière éblouissante qui, entretenue par un courant électrique, jaillit entre deux baguettes de charbon. En apportant certaines modifications au circuit de l'arc voltaïque, on obtient l'arc chantant.

En effet, la flamme de l'arc, en devenant le siège d'oscillations électriques très rapides, fait entendre un bourdonnement continu. De plus, elle émet dans l'espace des ondes électriques constantes, non amorties, c'est-à-dire des ondes soutenues.

Si maintenant l'on parle devant la planchette du microphone intercalé dans le circuit de l'arc ainsi disposé, les vibrations acoustiques déterminent dans ces ondes électriques des modifications, des variations de formes qui correspondent aux modulations de la voix et qui *traduisent électriquement les paroles prononcées*. ces ondes traversant l'espace iront faire vibrer à l'unisson la membrane du téléphone qui répétera les paroles.

Tel est le principe de la téléphonie sans fil. Voyons comment, en pratique, on arrive à transmettre les paroles à une certaine distance, du poste transmetteur au poste récepteur, c'est-à-dire du microphone où elles sont prononcées au téléphone où elles sont entendues.

Pour cette transmission, le courant de la pile qui fait vibrer la flamme de l'arc chantant, ne suffit pas, il faut un second courant sur lequel agit le premier par induction. Les deux circuits de ces courants, étant enroulés convenablement autour d'un cylindre de fer doux, on

obtient ce qu'on nomme une *bobine d'induction* [1].

Ceci posé, nous ferons connaître une disposition qui donne de bons résultats. Elle est due à Ruhmer de Berlin. Nous serons bref après les explications qui précèdent.

Poste transmetteur de Ruhmer

On trouve à ce poste (*fig.* 21) une pile P où sont intercalés un microphone M et le primaire B d'une bobine d'induction. Une autre source S, dont le courant est d'une intensité plus grande que celle de la pile P, alimente

(1) La bobine d'induction, comme la bobine de Ruhmkorff, comprend un courant primaire alimenté directement par la pile et un courant secondaire dans lequel se développent des courants induits sous l'influence du primaire. Le primaire prend aussi le nom de courant inducteur, et le secondaire le nom de courant induit. Dans les figures schématiques, on représente généralement une bobine par deux lignes en zigzag de différentes grosseurs et mises en regard. Voir la figure 21.

l'arc chantant A [1] et comprend dans son circuit le secondaire C de la bobine ci-dessus.

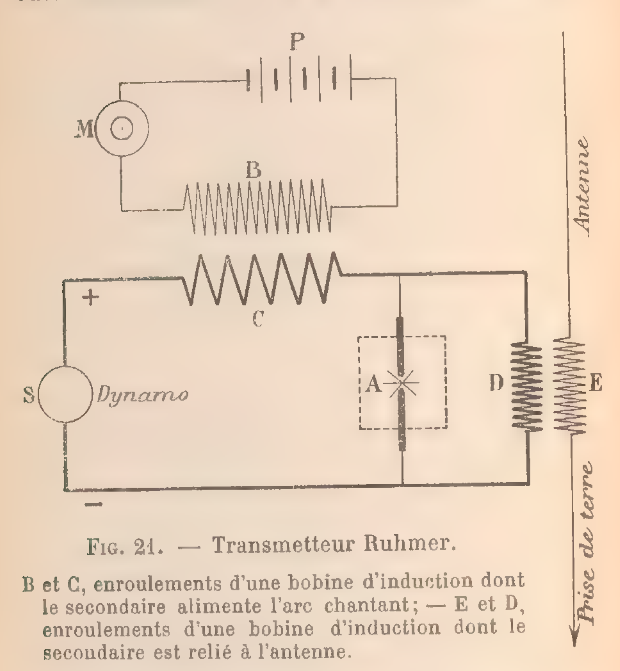


FIG. 21. — Transmetteur Ruhmer.

B et C, enroulements d'une bobine d'induction dont le secondaire alimente l'arc chantant; — E et D, enroulements d'une bobine d'induction dont le secondaire est relié à l'antenne.

Quand on parle devant le microphone, les

[1] On fait jaillir la flamme de l'arc chantant A dans une atmosphère d'hydrogène, il en résulte des ondes d'une plus grande fréquence.

vibrations acoustiques produisent des variations dans l'intensité du courant primaire de la pile P, ce qui détermine des courants induits dans le secondaire qui renferme l'arc chantant. La flamme de l'arc qui est ainsi excitée par ces courants induits reçoit les mêmes modifications que si elle était influencée directement par le courant de la pile ; mais on obtient par ce procédé, des ondes plus énergiques, des ondes se propageant à une longue distance.

L'antenne transmettrice est également reliée au secondaire d'une bobine d'induction. Elle vibre aussi sous l'influence des vibrations électriques du primaire. Ce mode de transmission par induction est dit *indirect*. Il a pour effet de réduire l'amortissement des ondes électriques, ce qui est important dans la question que nous traitons (1).

(1) Par cette disposition, l'antenne, à mesure qu'elle vibre et rayonne dans l'espace l'énergie transmise, se trouve entretenue par une nouvelle quantité d'énergie. Elle provient du primaire de la bobine où elle s'est accumulée momentanément ; il en résulte des ondes électriques mieux soutenues.

Les ondes électriques ainsi lancées dans l'espace, voyons comment on les reçoit au poste récepteur.

Poste récepteur de Ruhmer

Ruhmer se sert au poste récepteur du détecteur électrolytique représenté par la figure 17. Pour la description de ce poste et de cette figure nous renvoyons à la page 102.

Les ondes électriques émises par le poste transmetteur sont recueillies par l'antenne réceptrice. Elles passent par le détecteur électrolytique en conservant les variations qui leur ont été imprimées au départ par les paroles et arrivent au téléphone qui fonctionne comme précédemment [1].

[1] On cherche à simplifier la disposition de ce poste récepteur en supprimant le détecteur électrolytique. Les ondes arriveraient ainsi directement au téléphone sans perdre de leur énergie, et on espère établir avec ce téléphone-récepteur le détecteur le plus sensible qui existe.

Déjà on considérait aevc raison le téléphone ordinaire comme une merveille. Combien sont plus merveilleuses encore ces ondes électriques qui transcrivent les paroles, les transportent à travers l'éther dans toutes les directions et les prononcent à qui veut les entendre ! Par la syntonisation, on pourra correspondre entre deux postes déterminés, à l'exclusion des autres.

Cette syntonisation s'obtient plus facilement au moyen des ondes soutenues que par les trains d'ondes.

La transmission téléphonique de la parole reçoit déjà des applications. Les expériences faites actuellement par M. de Forest en Amérique, à bord des navires *la Virginia* et *le Connecticut*, permettent de réaliser pour la marine un porte-voix d'une puissance et d'une précision incomparables. Les officiers de divers vaisseaux vont se trouver désormais en relations constantes à une distance qui atteint déjà 20 kilomètres. C'est un commencement.

MM. Poulsen, Fessenden, de Forest, Ruh-

mer, etc., etc..., s'occupent beaucoup de cette question. Elle fera des progrès rapides.

Les communications par téléphonie sans fil sont directes et promptes ; elles n'exigent plus un personnel spécial pour transmettre les dépêches ou les traduire, avantage important sur la télégraphie sans fil. Celle-ci, toutefois, subsistera toujours pour les grandes distances.

Disposition actuelle du poste transmetteur de la tour Eiffel

Nous avons fait connaître les dispositions des antennes de la tour Eiffel qui aboutissent à une baraque. Grâce à une figure schématique parue dans le journal *l'Illustration*, le 7 mars 1908, figure qu'on nous a permis de reproduire, nous pouvons aujourd'hui faire la description des appareils de transmission contenus dans cette baraque et compléter notre

exposé antérieur (voir pages 93 et suivantes).

Le poste transmetteur (*fig.* 22) se compose d'une bobine d'induction appelée transformateur et d'une batterie de condensateurs analogues à des bouteilles de Leyde. Au dessus se trouve l'oscillateur ou l'éclateur; les deux

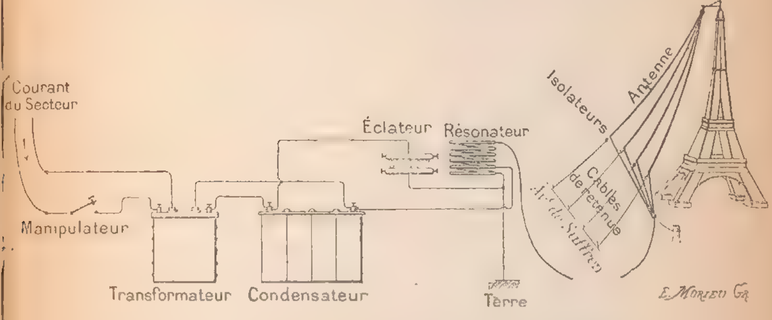


Fig. 22. — Schéma de la transmission des signaux.

boules entre lesquelles éclatent les étincelles sont ici remplacées par des cylindres ayant environ 30 centimètres de longueur et 10 centimètres de diamètre. Enfin l'antenne se rattache à un résonnateur Oudin, sorte de gros serpentin en cuivre qui s'enroule en 4 à 5 spires. Ce résonnateur a pour objet de régler la longueur

des ondes émises par le poste transmetteur [1].

Le poste est alimenté par le courant du secteur de la rive gauche ; il est livré sous une tension de 220 volts. Lorsque l'on presse sur le manipulateur, le courant passe dans le transformateur où cette tension s'élève à 4.000 volts, et il en sort pour charger la batterie des condensateurs ; des étincelles de décharge éclatent instantanément entre les deux cylindres en produisant un bruit de crépitement, qui s'entend jusqu'à 300 mètres du poste.

En résumé, en appuyant plus ou moins longtemps sur le manipulateur, on transmet des trains d'ondes plus ou moins longs qui déterminent au poste récepteur des sons correspon-

[1] Nous savons que, toutes choses égales d'ailleurs, la longueur des ondes électriques augmente avec les dimensions de l'antenne. Si donc, la spire inférieure du résonnateur étant en communication avec la prise de terre, l'on rattache l'antenne à l'une ou à l'autre des spires, on fera varier la longueur de cette antenne et, par conséquent, celle des ondes. On obtiendra ainsi la fréquence ou la note voulue.

dant au point ou au trait de l'alphabet Morse, comme nous l'avons déjà expliqué.

Ces trains iront ainsi jusqu'à Casablanca où ils sont reçus par le détecteur électrolytique; l'employé les perçoit au moyen d'un casque téléphonique, et il inscrit les lettres à mesure qu'elles arrivent : la reconnaissance doit être instantanée.

Les communications entre les deux postes ont lieu de huit heures du soir à deux heures du matin et au delà, si l'abondance de la correspondance l'exige. C'est un fait acquis que les ondes électriques se propagent beaucoup plus loin et avec plus de netteté après le coucher du soleil que pendant le jour.

La disposition des appareils de la tour Eiffel paraît être la meilleure de toutes celles qui existent actuellement, puisque, avec la faible énergie dont on dispose, on obtient une portée aussi considérable.

De Paris à Casablanca on compte 2.000 kilomètres à vol d'oiseau. Entre les deux stations se trouvent les Pyrénées et les sierras d'Espagne;

c'est une nouvelle preuve que les ondes électriques, lorsqu'elles sont puissantes, peuvent contourner ou franchir les chaînes de montagnes les plus élevées.

La téléphotographie. — La télévision

Le journal *l'Illustration* qui entretient souvent ses lecteurs des grandes nouveautés scientifiques, a fait mieux cette fois. Dans son grand hall transformé en salle de conférences, il présenta pour la première fois en France des expériences de téléphotographie le 1er février 1906.

Là, devant une assemblée composée de savants, d'artistes, d'ingénieurs, etc., l'inventeur, le professeur Korn, de Munich, exposa sa méthode. Il obtint de Lyon, par fil télégraphique, la transmission d'une photographie qui se développa petit à petit et devint complète en peu de temps.

Cette invention est encore à ses débuts ; les procédés deviendront plus rapides et conduiront à une transmission instantanée. Le problème tant cherché de la vision à distance sera enfin à peu près résolu. La télévision, dit M. Korn, est loin d'être un rêve chimérique [1].

Pour terminer ce petit livre, nous tâcherons d'imiter J. Verne dans ses prévisions.

Nous avons vu dans ce qui précède comment les ondes électriques rendent inutiles les fils de transmission, dans bien des cas : il en sera de même pour la téléphotographie. Surmontant tous les obstacles, traversant cloisons et murailles, les ondes qui déjà transportent sur leurs ailes la voix articulée nous feront voir, en même temps, la personne qui nous adresse la parole; mais elles feront mieux.

[1] La téléphotographie a été traitée complètement dans *l'Illustration* non seulement par le professeur Korn, mais encore par M. E. Benin, jeune ingénieur français. Les deux méthodes sont différentes : M. Korn emploie le sélénium, M. Benin n'en fait pas usage. (Voir les numéros des 24 novembre et 6 décembre 1906 et 9 février, 2 novembre et 16 novembre 1907.)

Un jour viendra où, assis dans notre chambre, au coin du feu, nous assisterons à une représentation de l'Opéra. Non seulement nous entendrons le grand ténor chanter sa romance favorite, mais encore nous le verrons, au moment le plus pathétique, porter la main à son cœur. Nous verrons aussi les danseuses qui d'un pas léger évolueront sur la scène. Ce sera charmant. Le prix de l'abonnement restera seul à régler.

Rêve aujourd'hui, réalité demain !

Après toutes les merveilles que nous avons passées en revue : la télégraphie, la téléméca-nique, la téléphonie, toujours sans fil, nous pouvons dire qu'il n'y a rien d'impossible.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE PREMIER

Notions préliminaires

CHAPITRE II

L'Éther et les Ondes électriques

CHAPITRE III

Dernières nouvelles

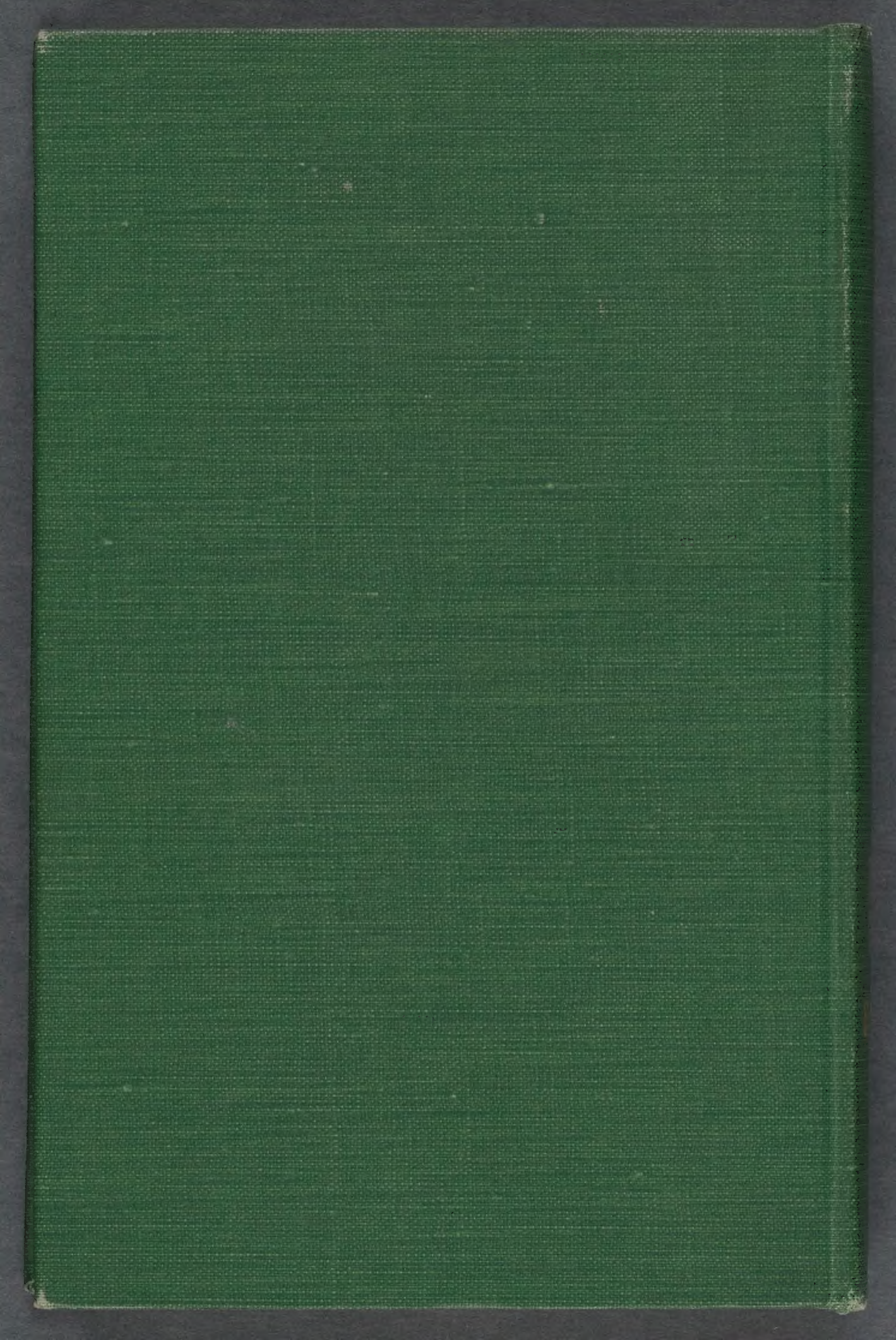
CHAPITRE IV

CHAPITRE V

La télémécanique sans fil

SUPPLÉMENT

Tours. — Imprimerie Deslis Frères, 6, rue Gambetta.



E. MONIER — TÉLÉGRAPHIE SANS FIL ÉD. 4